



RIETI Discussion Paper Series 06-J-055

地域クラスター・ネットワークの構造分析

－ ‘Small-world’ Networks 化した関西医療及び九州半導体産業ネットワーク－

坂田 一郎

経済産業研究所

梶川 裕矢

東京大学総合研究機構

武田 善行

東京大学総合研究機構

柴田 尚樹

東京大学

橋本 正洋

新エネルギー・産業技術総合開発機構

松島 克守

東京大学総合研究機構



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

地域クラスター・ネットワークの構造分析

－ ‘Small-world’ Networks 化した関西医療及び九州半導体産業ネットワーク－

坂田一郎¹・梶川裕矢²・武田善行³
柴田尚樹⁴・橋本正洋⁵・松島克守⁶

Regional Knowledge Networks of Corporations, Universities and Public Institutions

I.Sakata, N.Shibata, Y.Takeda
M.Hashimoto, Y.Kajikawa, K.Matsushima

要旨

地域クラスター内に形成されている産学官のネットワークの多様性が、圏域における先端産業の活力の程度を左右している可能性がある。我々は、ネットワークが持つ構造的特徴を多角的に把握した上で、それと先端産業の集中立地や成長との関係について議論する。

具体的には、ネットワーク分析の手法を導入し、近畿広域経済圏の医療関連産業と北部九州広域経済圏の半導体産業の2つを対象に定量的な分析を行った。その結果、第一に、両地域・分野のネットワークが‘Small-World’ Networks の特性を備えていること、第二に、両ネットワークの内部には、大小様々のグループ化された集団（モジュール）が多数存在し、それらが緩やかに結びついた構造を持っていること、第三に、近畿の医療関連産業では、同業種に属する企業群が横に緊密な結合をしてモジュールを作る一方、北部九州のシステム LSI 等の半導体産業では、中核メーカー毎の縦系列のモジュールと横の連携が混在しており、両者のアーキテクチャに違いが見られること、第四に、広域経済圏単位でのネットワークの一体性が高いこと、第五に、ミクロ的な分析として主要なノードに着目すると、産業分野の中核企業、研究大学、商社等がネットワークの中核的な位置づけ(Connector Hub)を占めていることを実証した。

先端技術産業の集中と成長が著しい2地域に、情報・知識の迅速な交換・融合や共同事業、産学連携に適した広域的なネットワークが形成されているという事実は、優れたネットワークの存在が先端産業の育成に寄与している可能性があることを示している。また、同じ大規模・先端産業であっても、中核産業分野、地域の特性によって、ネットワークの構造には差異が存在している。そうした構造上の特徴を踏まえることで、ネットワークの拡張に向けた政策努力をより効果的なものとするのが可能となる。

キーワード： 地域クラスター、‘small-world’ networks、医療、半導体

JEL classification: O32、O38、R11、R12

本稿を完成させるに当たっては、経済産業研究所のフェローの方から多くの有益なコメントをいただいた。本稿の内容や意見は、筆者ら個人に属し、経済産業研究所の公式見解を示すものではない。

¹ (経済産業研究所コンサルティングフェロー)/東京大学総合研究機構客員助教授(sakata-ichiro@rieti.go.jp)

² 東京大学総合研究機構助手(kaji@biz-model.t.u-tokyo.ac.jp)

³ 東京大学総合研究機構助手(takeda@biz-model.t.u-tokyo.ac.jp)

⁴ 東京大学技術経営戦略学専攻

⁵ (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)企画調整部長

⁶ 東京大学総合研究機構教授

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、(独) 経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

1. はじめに

(1) 地域クラスターの定義

本論文では、分析の対象として、「地域クラスター(Regional Cluster)」内に形成された組織間ネットワークを取り上げる。我々が「地域クラスター」と呼ぶ地域経済圏の事業環境に関する特性については、1990年代以降、その存在が観察される地域において、経済活動のダイナミックな高まり、すなわち、特定分野の企業の集中立地や生産高の増大、活発なイノベーションが見られるとして、世界的な注目を集めている。1990年代という時期は、工業化社会から知識社会への変革が加速した時期に当たる。

「クラスター」という言葉の語源は「ぶどうの房」であるが、多数の主体(ぶどうの粒)が有機的につながり合い一つの固まり(房)を形作った形態を表す概念として、地域経済圏の産業・社会構造の分析に用いられるようになっていく。地域クラスターの具体的な定義については、幾つかの組織やグループが試みている。例えば、アメリカ競争力協議会(2001)は、「クラスターとは、共通の技術、技能で連結している地理的に近接する、特定分野の相互に関連した企業と関連する機関のグループである。クラスターは、その広がり、高度化の程度によってさまざまな形態をとるが、多くの場合、最終製品又はサービスの企業群、専門的な資源、部品、機械、サービスを提供する企業群、金融機関、関連産業の企業群等から構成される。クラスターには、下流の産業や補完的製品の製造企業、専門的インフラの供給業者、専門的な訓練用教育、情報・研究・技術的支援を行う政府及び他の機関も含まれる」と定義をしている。また、全米州知事協会は、「クラスターを基軸とした経済開発に向けた州知事指針(2002年)」の中で、「地理的に隣接している集合体で、類似、関連、又は補完する事業体で構成され、事業体同士で取引、コミュニケーションを行う活発なチャネルがあり、そのチャネルは専門的知見の基盤、労働市場やサービスを共有し、直面するチャンスや脅威も共有しているもの」と定義している。欧州では、Camagni(1991)やMaillat et al.(1992)らが地域クラスターと類似した地域環境を対象として「Innovative Milieux(イノベティブ・ミリュー)」の概念を提起している。彼らはこれを「地域性を持つが、地域の外部に対しても開放された複合体であり、それは、ノウハウ、ルール、関連の経営資源を含むものである。」と捉えている。また、このミリューの内部では、企業内又は企業をまたがる個人の間社会的ネットワークが形成され、情報、知識の活発な交換や共同学習が行われているとした。他に、関連の深い議論として、Floridaらによる学習地域論がある。

我々は、こうした考え方を総括し、次のように定義する⁷。すなわち、地域クラスターとは、①特定分野に関し、地理的に近接した範囲内に、産学官の関連、互いに補完する行動主体が集まっており、②その集団の中にノウハウや知見、標準、生産技術といった価値あるものが蓄積されており、③集団内に、競争と緊張関係を維持しつつ、情報の流通・融合と柔軟な協働を効率化する、網の目のようなネットワーク(又は空間)が発達した状態である。クラスター内では、そうした事業環境の条件を利用して、チャンスと脅威を共有し、競争と協働が活発に行われることになる。ここで言う協働については、情報の交換や共有、イノベーションの方向性の共有といった緩やかなものから共同学習、人材、技術、アイデア等の経営資源を持ち寄ることによる共同事業という一体化の程度の高いものまで幅がある。地域内の各主体が相互に柔軟で複雑な連関を持っているという側面に着目すると、複雑な依存関係から成り立つ一種の生態系にも喩えることも出来よう。概念としては、イノベーション・システムを、通常の捉え方である技術開発と事業化のプロセス及びそれを支える法制等の諸要素としてではなく、地理的境界の中の様々な要素の集合体とそれらが協働・競争する環境条件として捉えたという点で、着想の新しさがある。

地域クラスターは、企業等が集中して立地しているという物理的な外観に関しては、工業化時代に形成された産地集積、企業城下町、工業団地と類似している。異なる点は、ネットワークを基盤とした相互の柔軟で、密な協働と競争の存在、すなわち、その内部構造とそこから生まれる現象にある。産地集積では、学や官を含めた多セクターのネットワークは未発達であり、また、ネットワークへの異質な者の新規参入は少ない。企業城下町では、中核企業を中心とした垂直的で、かつ固定性の高いネットワークが主である。このため、ネットワーク上を流れる情報や知識の範囲は限定され、かつ、流れ方も規則的である。工業団地はインフラの効率的な共有を主眼として整備されており、立地企業間の交流は、かなり限定されたものにすぎない。以上のことから、クラスターの特定に当たっては、外観的な特徴ではなく、内部構造、特に、柔軟で密なネットワークの存在を捉えることが有効と考えられよう。

⁷ 坂田・松島 et al.(2004)は、この定義に至る議論を行っている。

(2) ネットワークの価値

以上のように、クラスターの最大の特徴と価値の源泉は、協働を容易にする産学官の柔軟なネットワークの発達にあると考えられる。また、クラスターとしての環境が存在するかどうかは、柔軟なネットワークが形成されているかどうかベンチマークとなる。それでは、ネットワークの存在と経済活動のダイナミズムとの間をつないでいるのは、具体的にどのようなメカニズムなのであろうか。先行研究は、地域のネットワークの伸張や濃密化は、情報・知識のスピルオーバー、共同作業の加速、外部経営資源の柔軟な結合等を通じて、イノベティブな活動を促す効果があるとしている (Acs et al.(2002), Maillat (1996),Maillat&Kebir (1998),Porter (1998),Lofsten&Lindelof (2002), Jacobsson(2002), 神野(2002) 等を参照)。例えば、Acs et al.は、経済的に有用な新しい技術知識の生産は、様々なネットワークで結ばれたアクター間の共同行為の産物であると指摘している。Jacobsson は、ネットワークに強く統合されることにより、情報、知識への幅広いアクセスを得て、企業は経営資源の基盤の拡大出来、また、ネットワークは、将来のイメージについて、望ましい又は可能な姿の共通認識に影響を与えているとしている。神野(2002)は、人間の創造力は、相互に知識を交流させることによって高まっていく。ネットワーキングが叫ばれるのも、知識媒体を活用した知識交流が生産性を高めるからであると述べている。

整理すると、メカニズムの第一は、ネットワークの存在が、情報・知識のスピルオーバーを早め、密度を高めることである。地理的に近接した結合が密であれば、情報や知識の流通量は多くなり、また、流通の速度も速くなる。流動が活発になれば、その融合や濃縮の確率も高くなるであろう。知識のなかでも、粘着性の高い暗黙知のスピルオーバーについては、地理的な近接性に基づくフェイス・ツー・フェイスの接触が非常に重要であると考えられている。こうした性格を持つ暗黙知は、変化のスピードの早い先端産業において特に重要性が高い。中でも、技術が未成熟で幅広い探索が必要な段階では、大学を含めた外部の知識を広く吸収することが欠かせない (Nesta&Mangematin(2004))。有用な暗黙知を如何に早く、入手出来るかが、経済のダイナミズムを生む競争の優位性や知識の生産の効率を左右する。また、スピードだけでなく、スピルオーバーする情報・知識の幅も重要である。その幅が広い程、創造性とそれによって生じる新規事業の創出力が高まると考えられる。この点に関し、Lester&Piore(2004)は、アメリカのような先進国経済において、創造性の真の源泉となる能力とは、組織の壁や知的・文化的領域の壁を越えて、異質な人々と共存・交流する能力を意味すると述べている。

メカニズムの第二は、ネットワークの存在が組織を超えた共同事業を容易にすることである。今日の先端技術産業では、イノベーションを実施するに当たって、自社内だけですべての情報、知識、人材、資金その他の経営資源を得ることは難しく、外部資源の獲得が欠かせない (Powell&Brantley(1992))。域内に存在する主体の間に密なネットワークが張り巡らされ、情報や知識の恒常的な流動が存在し、それへのアクセスが可能な状態になっていれば、必要な資源の存在場所や利用状況を容易に特定出来、また、方向性の共有と信頼に基づいて資源の交換がスムーズに出来ようになることで、共同学習、共同研究開発、共同事業といった共同作業を行うことも容易になる。情報・知識の交換、融合や異なる組織に分散した資源を統合して行う共同作業を効率的に出来るような環境があることは、個々の企業の経営資源の制約を緩和し、イノベーションの創発力を高める。

それでは次ぎに、様々なネットワークの中で、具体的にどのような姿を持ったものが情報・知識の流通、融合、共同生産の効率を高めるのであろうか。それは第一に、地理的に近接して立地する各主体が、どの程度よく結合しているかということに左右されるであろう。よく結合していれば、効率は高くなるはずである。なぜなら、よく結合しているということは、情報や知識の流通効率を高め、異なる知識等の融合も活発にする。また、外部の新たな経営資源が必要となった際に、それらを持つ主体と直接関係を持っている確率を高め、また、新たにそうした主体を探す場合でも短いパスでたどり着ける可能性が高いことを意味しているからである。

第二に、平均的な姿だけでなく、ネットワークのアーキテクチャによっても影響されると考えられる。例えば、ヒエラルキーが堅固で、ハブが少数しかないネットワーク内 (代表例は企業城下町) では、縦の情報伝達の効率は高い一方、同業種に属する企業間の横の情報伝播や横の共同作業は生じにくい。情報や知識の幅も縦割りの内部にかなり限定される。逆に、ヒエラルキーが明確でなく、ハブが多数存在するネットワーク内では、横の情報伝達や協働作業は、活発になりやすいと考えられる。

そうした場合に、ハブが情報伝達や協働に積極的な姿勢であれば、更に、情報や知識の流通や共同事業の形成は増幅されるであろう。異なる情報や知識が自由に流通し、出会う機会が多くあり、また、経営資源の柔軟な集約（又は離散）を可能とするのは、ヒエラルキーが不透明な横の結合が発達したネットワークであると考えられる。

こうした地域クラスターの価値に対する認識は、各国の政府機関や地域の企業、大学において高まっている。実際、1990年代以降、産学官のネットワーク形成を軸として、地域クラスター創成に注力することが、地域イノベーション政策における世界的な潮流となっている。例えば、アメリカでは、各州政府や市政府がクラスターの形成にしのぎを削っている。アメリカ競争力協議会の報告書(Clusters of Competition)は、クラスターマッピング・プロジェクトの成果として、ボストン、ナッシュビル、ウイチタ、サンディエゴなど全米41のクラスターの存在を指摘している。欧州では、北欧の政府主導によるプログラムが成功事例として著名である。なかでもフィンランドは、国家戦略であるCenter of Expertise(COE)プログラムに基づき、14地域で専門性の異なるクラスターの形成に成功している。この他、イギリスのCluster Action Plan、ドイツのBioRegio及びInnoRegio、フランスのソフィア・アンティポリスなどが著名である。アジアに眼を向けると、中国では、中関村に代表される特区がクラスターの苗床となっており、また、韓国も、テドクバレーの形成などクラスター政策を本格化させている。

日本でも、「産業クラスター計画」と「知的クラスター創成事業」という二つの国家プロジェクトを推進している。これらの政策は、開始後5年が経過し、中間的な評価が求められる段階に至っている。

(3) ネットワークの構造とイノベーション創発との連関

それでは、こうした条件を満たした柔軟なネットワークとイノベーション創発との関係は実証されているのであろうか。逆に、条件の一部が欠けることによる負の影響は、具体的に検証されているのであろうか。ネットワークの構造そのものを特定し、それと産業の成長との関係を議論した実証研究については、アメリカのバイオ産業を研究フィールドとした幾つかの先行研究がある。Powell&White(2002)は、全米のバイオ企業やそれに投資を行うVCのマッピングを行い、研究開発型バイオ企業とVCの立地が共に数少ない地域経済圏に集中するという強いパターンを示すとともに、両者の間の結合の傾向を分析している。そして、両者の集合立地とリンクがバイオ企業、特に社齢の若い企業の成長に寄与していることを明らかにした。Powell et al.(2005)は、アメリカのバイオ分野における12年間のネットワーク形成過程を分析し、ネットワークの特性の変化や形成のメカニズムを明らかにしている。例えば、時間を経るにしたがって多様性が重要となってきたこと、ネットワーク内での協働の対象の重点が技術シーズの商業化から研究開発と資金調達へと移ったことである。Owen-Smith & Powell(2004)は、ボストン経済圏における医療産業のコミュニティの発展過程を可視化するとともに、ネットワークに参加することがイノベーション創造の程度に与える効果や大学の役割を明らかにしている。

これらの研究は、先端産業の成長過程におけるネットワークやリンクの重要性を示しているが、幾つかの限界を内包している。限界の一つは、分析対象がバイオ産業に限られており、多様な分野で形成されている地域クラスターの一般論とはなっていないことである。第二は、分析の対象が中心的分野だけに限られ、関連又は補完する分野、例えば、医薬の原材料となる化学工業、設備を提供する精密機械産業を含めておらず、クラスターの分析としては対象の幅が狭い点というである。第三に、特徴量の算出による客観的な評価が出来ていないということである。客観化がなされていないと、他の地域や分野と比較することも難しい。こうした限界から、クラスターのネットワークの構造的な特徴とそれが持つイノベーション創発力という面の機能との対応関係を明らかにしているとまでは言えない。

また、これらはアメリカをフィールドとした研究であり、日本では、研究成果が極めて少ない。一般的には、ネットワーク構造の定量的な分析そのものが、ほとんど行われておらず、ケース・スタディに基づく記述的・定性的な議論や部分的な特定とどまっている。例外的な研究として北海道経済産業局が実施した「バイオ産業クラスター『解体新書』(2005)」がある。これは、情報処理技術は利用

せず、一件毎に丹念に事実確認をしてノードとリンクを特定していくという手法で、ネットワーク図を描いている。一つの手法ではあるが、本論文が対象とするような大規模なネットワークに関する悉皆的な分析には適さず、また、ネットワークの特徴量の算出も不可能である⁸。また、分析対象とした業種の幅が狭いという点では、Powellほかの研究と同様である。

本論文では、ネットワーク分析の手法を導入することで、先に指摘した先行研究の2つの限界を乗り越えつつ、我が国の地域クラスター内に形成されているネットワークの構造的な特徴を定量的に特定することを試みる。ネットワーク分析とは、複数の主体とその間の関係から成り立つネットワークの構造を記述する枠組みである。この分野は、近年、発達が著しく、生物の代謝活動、ほたるの発光現象、ワールド・ワイド・ウェブ、学会論文の引用関係等、様々な分野のネットワークの構造解析に利用されるようになってきている。地域クラスターのネットワークについても、圏域内に立地する産学官の主体をノードとし、ノード間の取引や共同事業などの連結関係をリンクと定義すると、その構造は、ネットワークとして記述することが出来るようになる。我々は、情報技術を用いて、大量の情報を処理することで、ネットワークの構造に関する客観的な情報を得るとともに、可視化を行う。この際、先行研究と異なって、異なる2つの地域・分野を取り上げて、比較分析を行うこととし、また、クラスターの定義に沿い、中心的分野だけでなく、関連又は補完する分野も広く分析の対象に含めることとする。その上で、更に、このネットワーク分析の結果と別途、収集した地域産業や企業に関する情報を重ね合わせることで、構造的な特徴と圏域内における産業の集中や成長との関係について議論する。

2. 分析のメソドロジーと対象地域・分野

(1) 分析のメソドロジー—3つの手法—

地域経済圏に形成されたネットワークの構造を正確に把握し、問題意識に応じた解釈を可能とするためには、幾つかの手法を組み合わせる必要がある。我々は、三つの方法により、地域クラスターのネットワークの構造を多角的に分析する。

第一の手法は、ネットワーク分析で定式化されている特徴量を計算し、ノードがどの程度よく結合しているか等のマクロ的な構造を示すことである。本論文では、Watts& Strogatz (1998) や Barabasi (2002)と同様に、グループ化の度合い、又は、人間関係のネットワークに喩えると、共通の知人を持つ2人がまた直接の知人である確率を示すものであるクラスタリング係数(C)⁹、すべてのノードの組についての最短パスの長さの平均を示す平均パス長(L)を基本指標として用いる。加えて、ネットワーク内部に、グループ化の密度の濃淡が存在することが予想されるため、それを捉える指標として modularityQ (Newman(2004)参照)を用いる。

我々は、序論で述べた観点から、「'small-world' networks の特徴を持ったネットワークが存在する地域経済圏は、知識産業の高い成長力を可能にする傾向がある」との仮説を置く。'small-world' networks とは、任意のノードからノードまでの平均距離(平均パス長)がランダムネットワークの場合と同程度であるにもかかわらず、グループ化の度合いを示すクラスタリング係数が高いという特性を備えたネットワークのことを指す。'small-world'は、もともと社会心理学の分野で生まれた概念である。旅先やパーティなどで、初めて会った人と思いがけず共通の知人を持っていることを発見して「狭い世界ですね(It's a small world)」と驚いた経験は誰もがあろう。これが'small-world'現象である。多くの者がうすうす感じていたこの現象の存在を世に知らしめたのは、ミルグラムの功績が大きい。ミルグラムが1967年に論文として発表した著名な実験が示した社会的なネットワークに関するパラドックスは、一方では、任意に選ばれた人物の友人の多くがまた友人であって、知人関係

⁸ ネットワークの解明には至っていないが、他の先行研究として、新製品開発に関し、産学連携や企業間連携の重要性を指摘したものとして、児玉(2005)がある。

⁹ ネットワーク中のノード v が K_v 個のノードと隣接している時、理論的に K_v 個のノード間に存在しうるすべてのリンク、すなわち、 $K_v(K_v-1)/2$ 本に対して、実際に存在するリンクの割合を C_v とする。すべてのノード v について、 C_v の平均をとったものがクラスタリング係数と定義される。

が高いクラスタリングを示すが、もう一方では、ある人物がほんの何ステップかで（ミルグラムの実験）では、平均 6 ステップで）、どんな人にも到達出来るということにある。これがなぜパラドックスなのであろうか。ここでわかりやすいように、知人関係に全く重複がない場合を想定しよう。この時、全員が 20 人ずつ友人を持つとすれば、ある者から出発して、直接の友人は 20 人、友人の友人は 400 人、3 次の友人は 8000 人、4 次の友人は、16 万人と、ステップ毎の友人が数は、20 の乗数倍で増加する。計算上は 6 ステップという短い友人のパスをたどれば、日本人の半数の者に行き着くことになる。逆に、離島の小さな村のように、ある人物の知人の大半がまた知人であって、友人関係の大半が重複、すなわちクラスタリングしている場合はどうなるのであろうか。友人関係の増え方がずっと穏やかになり、遠く離れた者にたどりつくまでのステップ数ははるかに多くなるであろう。このように、高いクラスタリング係数と短いパス長とは、本来、相反する現象なのである。

このパラドックスを乗り越え、'small-world'現象を生み出すメカニズムを理論的に解明したのが、Watts&Strogatz(1998)によるベータモデルと、Barabasi&Albert(1999)によるスケール・フリーネットワークである。前者は、ランダムリンクがショートカットをつくることを通じて、後者は、非常に多くのリンクを持つノード（「ハブ」と呼ばれる）の存在によって、高いクラスタリング係数と短いパス長とを同時に実現することが可能であることを数学的モデルとして示した。

このような'small-world' networks の特性を持ったネットワークは、「よく結合している」との評価に該当し、情報や知識の流通や交換、濃縮、新しい知識の生産、資源の組織を超えた結合の効率を高めるものと考えることが出来る。このような性格のネットワークに参加していれば、強い直接的な関係を作った者から情報・知識・資源を不断に得られる状態にあるとともに、直接にはリンクしない遠い者とも、間接的で、緩やかなリンクを通じて繋がり、自身が持つものと異なった知識・情報・資源を獲得出来るからである（同様な議論として、西口 et al.(2005,2006)）。我々は、クラスタリング係数と平均パス長を実測し、ネットワークが、'small-world' networks の特性を持っているかどうかを検証する。先端産業の高成長が見られる地域に形成されたネットワークがその特性を持っていれば、仮説を支持する結果となる。

構造分析の第二の手法として、上述の modularityQ を用いたネットワークのクラスタリング及び、Fruchterman-Reingold(FR)法を用いたネットワークの可視化により、そのアーキテクチャのメゾスケールでの分析を行う。我々の先行研究（坂田・柴田・梶川 et al. (2005)）では、ノードに附帯している属性情報を利用していなかったが、本論文では、新たに、ノードの 2 つの属性情報、すなわち、業種と立地地域を分析に持ち込む。これにより、一般的なネットワーク分析を超えた地域クラスターのネットワークに特有な問題意識に沿って構造を分析することが可能となる。論点の第一は、類似した事業を行う企業群の間の横の連携が発達しているのかどうか、産学の連携が発達しているのかどうか、である。変化の激しい先端産業において高いイノベーション創発力を持つためには、先に述べたように、単に密に結合したグループ化が存在するというだけでなく、縦割りの企業系列を超えた幅広で柔軟な協働を可能とする横連携が発達していること、すなわち横連携のアーキテクチャを持っていることが重要である。

第二は、県境を越えた広域的なネットワークが形成されているのか、それとも県規模の地理的範囲でのグループ化がみられるのかどうかである。クラスターとしての成熟度については、どの程度の地理的範囲を一体のものに見なすかによって、評価は変わってこよう。例えば、複数の隣接経済圏に関連企業群が機能別に分かれて立地しているような場合、当該複数経済圏に一体的なネットワークが発達していれば、一つの総合的な機能を持ったクラスターが存在すると評価することが出来るが、そのようなネットワークが存在しない場合は、単に限られた機能を持つ企業の集中立地がみられるだけで、クラスターが存在するとはいえない。どの程度の地理的領域を一体的な政策努力の投入範囲と考えるのかは、政策担当者にも広く関心を持たれているテーマである。

ネットワーク構造上、情報や知識が集中し、時には、その流通をコントロールするハブの存在が重要である。どのようなノードに情報や知識が集中するかによって、域内のイノベーション活動の起こり方が変わってくる。例えば、最終製品を生産する事業者がノードとなっているのであれば、最終製品メーカーが外部の環境変化を域内に伝え、域内の技術進歩を促すリーダーとなる可能性が高い。また、ハブが情報流通やネットワーク外部との連携に対して積極的かどうかによって、ネットワーク上に流れる情報量が変わってくるであろう。Maillat et al.(1992)は、スイスのニューシャテルとフラ

ンスのブザンソンの時計産業の構造変革への対応をケース・スタディすることを通じ、この点を確認している。ネットワーク内の主要ノードに着目し、どのような種類のノード群が、ネットワークのハブとしての機能を果たしているかを明らかにするため、第三の手法として ZP マトリックス (Guimera&Amaral(2005)を参照、後段で詳述)を導入する。これは、ノードの役割を、それが含まれるグループ内での位置づけの大小と複数グループを連結する機能の大小の 2 面から評価するものである。Z Pマトリックスを導入することで、ネットワーク中のノードの役割というマイクロ分析を行う。

(2) 分析対象となる地域・分野

分析の対象として取り上げる地域及び分野は、近畿広域経済圏の医療関連分野（「近畿医療」と略称する）と北部九州広域経済圏のシステム LSI や半導体製造装置等の半導体関連分野（「北部九州 L S I」と略称する）である。広域経済圏の範囲については、前者については、医療系クラスター形成に向けた政策努力が行われている大阪府、京都府、兵庫県、滋賀県の 4 府県とし、主要な半導体メーカーと半導体製造装置等関連企業が多数立地する福岡、熊本、大分の 3 県とした¹⁰。

これらを選定した理由は、三点ある。一つ目は、大規模な新産業とそのイノベーション活動の集中が顕著であるとともに、更にその成長を加速すべく多くの政策努力が投入されていることである。近畿は、大阪の道修町を中心に古くから製薬企業が集中立地し、製薬分野のイノベーションの中心地であり続けている。同町周辺に本社を置く主な企業としては、武田薬品、三菱ウェルファーマ、塩野義製薬、田辺製薬等がある。大阪府の医薬品生産金額は、厚生労働省薬事工業生産動態統計によれば、全国の 12.9%を占め、都道府県別でトップである。製薬企業の研究開発活動については、武田薬品、三菱ウェルファーマ、塩野義製薬、田辺製薬、住友製薬等が研究所を置いている。研究開発ベンチャーとしては、アンジェスMGやミレニアムゲートテクノロジーが著名である。また、世界的にみてもトップレベルの研究機関である大阪大学、京都大学、国立循環器病センター、理化学研究所発生・再生科学総合研究センター等が存在する。

北部を中心とした九州には、1970 年代以降、半導体製造工業の集中立地が進んでいる。三菱電機、東芝、日本電気、ソニーセミコンダクタ、T I など主要 LSI メーカーの大半が前工程又は後工程の工業を有し、全国半導体産業の 25%が集中している(2005 年、金額ベース)。シリコンウエハ、半導体関連部品、半導体製造装置、それらを支える金型、メッキ、プリント基板等、関連企業の層も次第に厚くなりつつある (山崎・友景(2001))。研究機関に関しても、LSI メーカーの研究所や九州大学、九州工大等がある。

政策努力については、近畿に関しては、神戸医療産業都市構想、彩都構想、京都バイオシティ構想があり、九州については、シリコンシーベルト福岡構想、おおいだ LSI クラスタ構想、熊本セミコンダクタ・フォレスト構想等がある。これらプランを実現するための産学官のコンソーシアムや推進機関が設立され、活発に活動を行っている。

二つ目は、技術分野の先端性である。先端的な分野では、技術の進化が遅い分野に比べて、ネットワークを活用した知識の迅速なスピルオーバーが非常に重要であると考えられる。すなわち、クラスター化することから得られる利益が大きい。医療と半導体は、先端技術産業の代表例である。両分野は、また、その技術の発展に関して、大学が持つ知的資源への期待が大きいという共通点を持つ (例えば、Brezntiz et al.(2004)、Arora and Gambardella (1990)、Smilor et al. (1988)を参照)。

三つ目は、二点目とも重複する部分があるが、産業特性として、Steinle ら(2002)が示した、クラスター化を促す 3 要素、すなわち、中核企業を起点とした長いバリューチェーン、産学のネットワーク・イノベーションの重要性、市場のボラティリティの高さを満たしていることである。

こうした特性を満たす両地域・分野については、我々の仮説が正しければ、中核産業に加え、その上流・下流産業や関連、支援産業も含めた範囲で濃密なネットワークが発達していることになる。

3. データと定義

¹⁰ 鹿児島県及び宮崎県にも一定の企業立地があるが、上位 3 県を選定した。

近畿の医療関連分野と北部九州の半導体関連分野という二つのデータ・セットを用いる。時点は2005年である。両者は、ネットワークの規模に大きな差が無く、比較分析に適している。

最初に「ノード」であるが、企業ノードについてはNTTと帝国データバンクのデータベースをマッチングさせて利用し、対象地域に立地すること、主たる事業が関連業種に該当することの2条件を満たした企業群のデータを抽出した上で、悉皆的に利用した。データベースに登録されているのは、主要な企業であり、全企業が登録されているわけではないため、このデータが示すのは域内の「主要な企業ノード」と捉えておく必要がある。域内の複数の支店や工場が存在する場合には、それらを合わせて一つとみなしている。大学、大学発ベンチャー、産業支援機関のノードについては、利用可能な統合データベースが存在しないため、産学連携プロジェクトへの参加や研究能力を考慮しつつ主要な機関を出来るだけ幅広く選定した上で、それらから個別に提供を受けた情報を利用した。その結果、分析に含まれるノードは、企業群、大学・公的研究機関、産業支援機関の三種類であり（表1参照）¹¹、最大連結成分中のノード数は、前者が4,959、後者が3,139となった。企業群には、「地域クラスター」の定義に沿って、①製薬会社、LSIメーカーといった中核企業群に加え、②川上産業、すなわち、素材や部材の供給企業（医療については、例えば、化学製品や繊維、半導体では、シリコンウエハ製造、マスク製造、プリント基板製造、組み込みソフト、各種電子デバイス等）、③装置メーカー等の周辺産業（医療では、医療関連機器、医療用品や計測機器、半導体では、半導体製造・検査装置等）、④川下産業（医療では病院、半導体では電気・電子メーカー等）、⑤大学発ベンチャー、⑥金融機関、VC、専門学校等の支援企業群を幅広く含めた（詳細は appendix1 を参照）。各企業のこれら業種への割り当て、及び所在地は、NTTデータベースへの登録情報に依拠している。

Powell ほかの先行研究と比較した場合、中心的産業に加えて関連・補完する産業を幅広く含めたこと、より広い地理的範囲で捉えたことから、データベースの規模は、ノード数でみて我々の分析の方が1桁大きい。

（表1） ノードの定義

	定義	出典
企業ノード	対象地域経済圏における特定分野の主要な企業	NTT・帝国データバンクのDB
大学ノード	対象地域経済圏内の主要大学 (産学連携プロジェクトへの参加度、研究力で選定)	各大学情報
産業支援機関ノード	対象地域経済圏内の主要機関	各機関情報

（備考）ノードは、企業組織単位で捉えており、圏域内に支店・支所が複数ある場合は、それらを一つとみなしている。

次に、これらノード間の組織的な関係、具体的には、直接の主要な契約関係が存在するものを「リンク」と定義する。表2に整理したように、例えば、企業間のリンクは様々な商取引、企業と大学間のリンクは共同研究、包括連携である。商取引情報においては、その金額的な大小によるリンクの濃淡が問題となりうる。ここでは、商取引情報として、帝国DBに登録されている仕入先5社、販売先5社からなる主な取引先情報を用いた。このことにより、規模の小さい取引を排除し、当該地域におけるネットワークの本質的な構造を抽出することが可能であると考えられる。共同研究、受託研究、包括連携については、当該公的機関への個別ヒアリングにより悉皆的に入手している。分析においては、企業間の主要な商取引と企業・大学間の共同研究や受託研究は、情報や知識の流通の基盤となるリンクとして、同程度の重要性を持つものと仮定をしている。ノードと同じデータベースを用い、この定義に基づいて把握したリンク数は、近畿医療が40,036、北部九州が23,356となった。

¹¹ Barabasi(2002)は、「会社、財団、政府など経済活動を行うものはすべてノードであって、これらをつなぐ購買、販売、共同研究、マーケティング等多様な経済活動がリンクである」と述べている。

大学の同窓会ネットワークのような個人的な関係の中にも重要なものはあるが¹²、それを客観的かつ悉皆的に把握することは不可能であることから対象とはしない¹³。ただ、公式な契約関係が存在する場合には、その背後に非公式な関係が公式な関係の密度とある程度対応した形で存在すると考えるのが一般的であろう。

我々の分析は、ネットワークの最大連結成分を対象としているため、原データ上、ノードとして存在していても、例えば、北部九州において半導体とは関係の無いソフトウェア開発を行う企業のように、域内リンクを一件も持たない企業は、次節の分析の対象には含まれていない。また、原データ上、ノードからのリンクが存在しても、域外の企業や対象業種外の企業との取引であって、原データにもう片側のノードが存在しない場合は、分析対象に含まれない。

(表 2) リンクの定義

リンクの組合せ		定義	出典
企業	企業	取引関係の存在	NTT・帝国DBの情報をマッチング
	大学	共同研究、包括連携	各大学から個別に情報を入手
	産業支援機関	共同研究、受託研究	各支援機関から個別に情報入手
大学	大学	共同研究	各大学から個別に情報を入手
	産業支援機関	共同研究、受託研究	各大学から個別に情報を入手
産業支援機関	産業支援機関	共同研究、受託研究	各支援機関から個別に情報入手

1. 域内の企業・大学・機関の間の結合をリンクとする。域外は含まない。
2. 取引関係については、各ノードについて、主な仕入れ先、販売先上位5社づつのデータ。

4. 分析結果

(1) ネットワークの特徴量の分析

最初に、ネットワークの最大連結成分を対象に、クラスタリング係数と平均パス長などの基本的な特徴量を計算した。その結果を整理したものが表 3 である。この表から読み取れることの第一は、クラスタリング係数(C)の実測値は、ランダムネットワークの場合の理論値の概ね 10 倍の値であることである。これは、任意の企業を 2 つ選んだ場合に、それらが取引等の関係を持っている確率がランダムなネットワークと比較して、10 倍高いことを示している。その確率は、近畿医療の場合は約 3.8%、北部九州 LSI の場合は約 4.3% である。次ぎに、平均パス長(L)については、ランダムネットワークの場合の理論値と比較して、増加はしているが、6 割程度の増加にとどまっている。近畿医療、北部九州 LSI とともに、任意のノードから任意のノードまで平均 5 ステップという比較的短いステップでたどりつけることを示している。このことから、両地域・分野を「5 次の隔たりのクラスター」と呼ぶことが出来よう。

以上の 2 指標から判断して、両ネットワークともに、クラスタリングの度合いが高く、かつ、平均

¹² 例えば、浜松経済圏においては、静岡大学工学部（旧浜松高専）の同窓会ネットワークが域内の情報交換や協働に大きな影響を与えていることが知られており、また、岩手大学を中心とした I N S は、岩手県内におけるもの作り産業の技術革新に寄与していると評価されている。

¹³ 例外的な研究として、シリコンバレーの専門家の人的ネットワークを可視化した Lee et al.(2000)がある。

パス長が比較的短いという ‘Small-World’ Networks の特性を備えているといえる¹⁴。

ネットワークの内部には、異なる性格の幅広い業種に属するノードを対象としたことや対象地域に複数の経済圏を含めたことから、結合の程度に関する濃淡が存在することが推測される。そこで次に、いわゆる Newman 法¹⁵により、Modularity Q を指標として用いて、結合の程度の差異を中心としたネットワーク内部の大まかな構造を推計してみよう。Modularity の最大値、Qmax の値を計算すると、近畿医療が 0.65、北部九州半導体は、0.63 と近い数字となった。この値から、予測したとおり、密な結合をした集団（「モジュール」と呼ぶ）があり、そして、それらが比較的薄いリンクで連結されている構造であると推測することが出来る¹⁶。また、Qmax の値が近いことから、両地域におけるモジュールの独立性の程度は、同程度であるということが言える。更に、モジュールの数を計算した。Qmax となる時点でモジュールの分割を行うと、関西・医療には、それが 47、北部九州・半導体には 20 存在する。両地域・分野ともに、大きなネットワークの中に、平均 100 程度のノードを含んだモジュールが存在していることがわかる。

(表 3) 両ネットワークに関する主要指標

	近畿・医療関連	北部九州・LSI
Node数	4,959	3,139
Link数	40,036	23,356
1node当たりの平均Link数	16.1	14.9
クラスタリング係数(実数)	0.038	0.043
平均パス長(実数)	5.14	4.92
クラスタリング係数(random)	0.003	0.0047
平均パス長(random)	3.06	2.98
Qmax	0.65	0.63
モジュール数	47	20

(備考) 1. Randomの場合の値は理論値
2. モジュール数は、Qmax時の値

(2) ネットワークの可視化とアーキテクチャの特定

次にアーキテクチャのより子細な分析へと進む。坂田・柴田・梶川 et al. (2005)は、ネットワークの代表的な特徴量であるクラスタリング係数と平均パス長だけでは、ネットワークのアーキテクチャを捉えきれないことを明らかにした。特定のノードを中心とした垂直的な関係で構築されたネットワーク（企業城下町）と同業種内の横の連携が発達したネットワーク（理想的なクラスター）のように、そのアーキテクチャが大きく異なる場合でも、2つの特徴量が近い場合が存在するのである。これでは、ネットワークの構造を特定したとは言えない。また、どの程度の地理的な広がりを持つかのように、地域クラスターのネットワーク特有の問題意識には、基本的な特徴量だけでは答えを出すことは出来ない。先に、modularity Q を用いた分析により全体構造を推計したが、ネットワークの多様な構造をより子細に把握するためには、更に進んで、ネットワークの可視化と、モジュール毎の特性分析を行うことが有効である。

我々は、先の特徴量の分析と同じデータベースを利用して、modularity Q を用いたネットワークの

¹⁴ Watts&Strogatz(1998)は、Cの実測値がランダムの場合の理論値の10倍、Lの実測値がランダムの場合の1.6倍という本分析における2ネットワークと同様な指標を持つネットワークについて、“small-world networks”に分類している。

¹⁵ 例えば、Newman(2004)を参照。

¹⁶ Qが表すのは、[同じモジュール（コミュニティ）内でのリンクの割合] - [ランダムネットワークと仮定した場合のモジュール内でのリンクの割合]。Q > 0. 3の場合はグループ化構造があると評価され、最も強くグループ化された構造の場合は、理論的にはQ=1である。

クラスタリング、FR法を基盤としたネットワークの全体構造の可視化を行った。

図1及び図2は、それぞれ、近畿医療と北部九州LSIのネットワークの全体構造を示したものである。図内に描かれた円は、含まれるノード数が多い主要なモジュール、その間をつなぐ線は、モジュール間に存在するリンクを示している。ノード数とリンク数が非常に大きいため、すべてを図示した場合、視覚的に構造を把握することは厳しくなる。ここでは、視認性を上げるために、モジュール内のノードとリンクの標記は省略してある¹⁷。図中のモジュールの位置は、全体構造内における当該モジュールに含まれるノード群の相対的な位置づけによって決まっている。なお、モジュール番号は、識別のため、便宜付与したものであり、本論文内では統一したものであるが、モジュールの大小等の意味はもたない。

ModularityQの値から推計されたように、両ネットワークともに、基本的な構造として、密な結合をした大小様々なノード群、すなわち、多数のモジュールがその内部に存在し、それらが連結された構造であることがわかる。また、一つのモジュールが他を圧倒する程の規模や中心性を持つことはなく、中核となるモジュールが複数存在している。

詳しく検討すると、図1から、近畿医療のネットワーク内では、全体として、特性の近い業種に属する企業群が一つにまとまってモジュールを構成していることがわかる。類が友を呼び、横の連携が発達した構造であるということが出来よう。個別にみていくと、製薬・医療商社から成る製薬・医療、化学工業、計測・分析機器等の電気・機械を主要業種としたモジュールが大きな存在である。化学は薬の原材料を供給する代表的な上流産業であり、電気・機械は、医療現場に必要な機械・機器を供給する関連産業に属する。これらに次ぐのがソフトウェアである。これは、ITが医療関連分野でも応用が進んでいるためであろうと推測される。医療機器は、企業数が少なく、小さいモジュールを構成している。医療機器モジュールと製薬業モジュールとは距離があり、製薬業と医療器械産業は、一体化していないことが読み取れる。医学と工学の連携が進んでいるとは言えない。他に、バイオ技術を仲介として繋がる食品産業や酒造産業の小さなモジュール等がある。

図2から、北部九州LSIのネットワーク内では、比較的規模の大きい電気・電子関連の分野が中心のモジュールが多数存在することがわかる。ここでいう電気・電子には、LSIメーカー、その川上(部品・材料の供給元)、川下(LSIの利用産業)を含んでいる。この点は、業種が近い企業群が一つのモジュールにまとまっている近畿医療とは明らかに異なっている。後ほど具体的に検証するが、中核LSIメーカー毎の縦の系列の存在をうかがわせる分析結果である。他の主要なモジュールとしては、川下産業の通信・情報処理、川上産業の印刷、関連産業の機械装置メーカーと商社、精密機器等のモジュールがある。電気・電子系のモジュールだけの比較で考えても、やはり、モジュール群の間の優位性は明らかではない。

次に、先に抽出したモジュール毎に、2つの視点から、その特性を詳しく検討していくこととしよう。第一の視点は、「業種構成」である。図3と図4は、それぞれ、近畿医療、北九州LSIについて、主要なモジュール毎に、その業種別の構成割合を示したものである。左からノード数の多い順に並べてある。また、表4と表5は、これを補完する意味で、主要なモジュールに含まれる有力企業や大学の名称をリストにしたものである。

まず近畿医療については(図3参照)、No.6のモジュールは化学産業、No.5のモジュールは製薬、医療商社、大学を中心としたものとなっている。モジュールNo.9は計測・分析機器等の中堅のハイテク企業が多い。No.1は情報ソフトウェアと電気、No.15はバイオ技術等を媒介とした食品加工、No.20は織物、No.3は医療用機器のモジュールであることがわかる。先の分析結果の繰り返しになるが、業種特性が近い企業群が集まってモジュールを作り、それらが緩やかに結合している構造であることが確認出来る。

主要な研究大学(京都大学、大阪大学、神戸大学)については、数が少ないため図3からはわかりにくい。表4と併せて読むと、製薬・医療商社と同じモジュール(No.5)に含まれていることがわかる。このことは、ネットワーク内で、研究大学と製薬企業のリンクが相対的に密であることを示している。

¹⁷ ネットワークの構造に関する情報量を加工・濃縮せず、そのまま図示するとAppendix2のような図となる。

北部九州 LSI については(図 4 参照)、同じ業種内での横の関係のリンクも多数存在するが、近畿医療ほどは、同業種の企業群の密な結合がみられない。顕著なのは、モジュール No.1 の通信、No.10 の印刷、No.15 の医療用機器の 3 つのモジュールだけである。他方で、電気・電子機器産業が規模上位のモジュールの大半で 20%又はそれを超えるシェアを持っている。また、表 5 をみても、三菱電機、安川電機、富士通、東京エレクトロン、東芝、日本電気、日立製作所等、主要な半導体関連メーカーが各モジュールに分散していることがわかる。この事実は、ネットワークの中に主要メーカー毎の縦の系列群が存在し、それらがモジュール構成に強い影響を及ぼしていることを示していると考えられよう。以上のことから、北部九州 LSI のネットワークは、メーカー毎の縦の系列のリンクと同業種内のリンクが混在した構造であると捉えることが適当である。研究大学(九州大学、九州工大)については、モジュール No.8 に属しており、大学群と関係が深いと考えられる同モジュールの中核企業は、日立、京セラ、島津製作所である。電気・電子産業が多数モジュールに分割されていることから、大学と中核産業との関係は、近畿医療ほど明確ではない。

第二の視点は、「地域性」である。近畿医療は大阪、京都、兵庫、滋賀の 4 府県、北部九州 LSI は、福岡、熊本、大分の 3 県に所在するノードを分析対象としている。府県別にみて、ネットワーク内に、地域性のある密集がみられるかどうか、を検証する。もし、各モジュールに含まれるノードの地域別シェアに関し平均と比較して大きな偏りがみられれば、広域ネットワークは、小地域ネットワークの連合体であると考えべきであり、逆に、それがみられなければ、広域的に一体のネットワークであると考えられよう。

図 5 と図 6 は、それぞれ近畿医療、北部九州 LSI の主要モジュールについて、府県別の構成割合を示したものである。少数の例外を除き、同府県に所在する企業群の密集はみられない。このことから、両クラスターのネットワークは、近畿 4 県、北部九州 3 県といった広域で一体的なものとして形成されていると判断される。なお、例外は、近畿医療では、モジュール 20 (京都)、モジュール 16 (京都)、九州 LSI では、モジュール No.14(福岡)、モジュール No.5(大分)、モジュール No.0(大分)である。図 3 及び図 4 や表 4 及び表 5 と重ねあわせて考察すると、京都企業の密集は地場産業の織物と酒造(食品に含まれる)であり、大分や熊本企業の密集は、安川電機、リコーなど特定企業の関連企業群の集まりであることが推測出来る。

総括をすると、第一に、両ネットワークは、平均 100 程度ノードを含むモジュール群の結合体という構造を持っている。モジュールの規模のばらつきは大きく、特定の一つのモジュールがドミナントな位置づけを持っているわけではない。第二に、業種の切り口でみると、関西医療は、同業種又はサプライチェーン内の同じ段階における横の連携が発達した構造であるのに対し、北部九州 LSI はメーカー毎の縦の系列の影響が大きく、その要素を持ったモジュールが多数、存在する。この面で両者は異なったアーキテクチャを持っていると言える。この構造の差異は、クラスタリング係数、平均パス長、Modularity Q の各指標では検出することが出来ないが、我々が新たに導入した手法は、それを可能とした。第三に、地域性の切り口で考えると、府県別の地域性に基づく群集はほとんどみられず、両ネットワークは、ともに、広域的に一体のものとして形成されていることが明らかとなった。第四に、研究大学については、関西医療ネットワークに参加する京都大学や大阪大学の方が、北部九州 LSI の九州大学等よりも、中核産業との結びつきが強い。

(3) 構造上重要なノードの特定

手法の三番目として、ネットワークの構造上重要なノードの特定を行う。先に述べたように、重要なノードの特性は、ネットワーク上の情報の流れや地域内の協働の様態に影響を与えうる。ネットワーク分析では、従来、多数のリンクを持つノード(「ハブ」と呼ばれる)が重要な役割を持つものであるとみなされてきたが、生物の代謝ネットワークを対象としてノードと機能や代替性の関係の分析を行った Guimera & Amaral (2005)は、必ずしもリンク数だけでノードの役割を正確に測ることは出来ず、より複雑な枠組みが必要であることを示した。Guimera らは、ネットワーク内におけるノードの役割を決定するために、「クラスター内次数係数(within-module degree: Z 値)」を縦軸とし、「モジュール間分散度(participation coefficient: P 値)」を横軸として、表現される「ZP マトリック

ス」を提案している¹⁸。Z 値は、それが属するモジュール内でどの程度、重要な位置づけを持っているのか、相対的な程度を表し、P 値は、モジュール間をどの程度、よく繋いでいるのか又はそれが属するモジュールにどの程度、リンクが閉じているのかを表している。このマトリックスでは、一つのノードとそれが持っているリンクに着目した場合に、上方に行くほど、当該ノードが、自身が含まれるモジュール内で他のノードとよく結合していることを示し、右側に行くほど、多数のモジュールにリンクが分散しており、モジュールの間をつなぐ機能が高いことを表している。このマトリックスでは、Z 値が 2.5 を超えるノードをハブと位置づけ、更にその位置によって、ノードを 7 種類に分類している。なお、社会学の領域でも関連する議論が行われている。例えば、Burt(2000)は、P 値と類似の視点から、他のグループとの結合を担うノードを **Broker** と呼んでいる。

クラスターのネットワークにおいても、代謝活動と同様に、近い性格の企業との交流や固定的な取引関係というリンクだけでなく、異質なグループの間をつなぐリンクは重要である¹⁹。そうしたリンクを通じ、異なる技術・ノウハウ・産業文化の背景を持った情報や知識が流れ、交わることや異質なグループが持つ資源を統合することは、革新的なイノベーションを刺激するものとなる。そこで、分析の枠組みとして、我々は、このマトリックスを採用することとする。右上に位置づけられるノードは、分析の枠組み上、特定のモジュール内でドミナントな存在であって、かつ、多数のモジュールをつなぐ機能を持っていることから、情報や知識の伝達、共同事業の組成などにおいて、重要な役割を果たす可能性が高いものと考えられる。

近畿医療に関し、中核である制約・医療モジュールの主要ノードをプロットすると図 7 のようになる。武田薬品、塩野義製薬、田辺製薬、大塚製薬の 4 社は、Guimera らの分類による”Connector Hubs”又はそれに準じる位置づけに該当する。これらのうち武田薬品、塩野義製薬、田辺製薬の 3 社は、大阪府道修町に本社を置く企業であることから、地理的には、道修町がネットワークの核となっていると見てよいであろう。これらの中でも、武田薬品は、Z 値・P 値ともに最大で、特に強力なハブとなっていることがわかる。研究大学については、京都大学と大阪大学は、同程度の重要性を持った”Connector Hubs”として抽出されている²⁰。神戸大学以下の大学は、位置づけにおいて劣っている。他に、神戸の先端医療財団と関西にテッシュエンジニアリングの研究グループを置く業技術総合研究所が Connector となっていること、医療商社が”Provincial Hubs”となっていることがわかる。具体的には、スズケン、ケーエスケー等である。

北部九州 LSI については、中核モジュールが一つに特定出来ないため、リンク数上位の 20 ノードを抽出し、同様にマッピングを行った (図 8 参照)。全体として、やはり、LSI メーカーと電気・電子系の中核企業群が重要な役割を果たしていることがわかる。個別にみると、日本電気、富士通、東芝、日立、安川電機の中核メーカー、製造装置の東京エレクトロンと九州大学、九州工大、熊本大学という研究大学などが、”Connector Hubs”に該当する²¹。なかでも、九州大学は、突出した位置づけを持っている。福岡大学と内村酵素は、小クラスター内ではよく結合しているが、他の小クラスター

¹⁸ Guimera & Amaral (2005)は、両指標を次のように定義した。z-score は、当該ノードが、自身が含まれるモジュール内でどの程度よく結合しているのかを表し (how well-connected node i is to other nodes in the module)、P は、当該ノードが持つリンクが複数のモジュールにどの程度、分散しているのかどうかを表す(how well-distributed the links of node i among different modules)。彼らは、このマトリックスを用いて代謝ネットワークの分析を行っている。その結果、ノードの重要性は、リンクの獲得数だけでなく、ネットワーク内での位置づけを考慮する必要があること、特に、コネクターの位置づけを持つノードが重要であること示した。指標の計算方法は、appendix3 を参照。

¹⁹ Granovetter は、こうした弱い存在とのリンク (weak ties) の重要性を指摘している。

²⁰ 本分析は、企業間の主要な取引と企業と大学との共同研究は同程度に重要なものとみなして分析を行っている。企業と大学は、データの出所、性格が異なるため、企業毎又は大学毎の相対評価は適切に行えるが、特に、相対的な評価を行う Z 値については、企業と大学との間では、マトリック上の位置づけを単純に比較することは出来ないことに注意。

²¹ 北九州市で行った研究会では、九州に製造工場をもたない富士通と日立が Connector Hub となっていることについて議論があった。本分析では、富士通は九州 R & D センター (半導体関連企業が集中立地する百道浜)、営業拠点 (福岡・北九州)、日立は九州支社 (百道浜) があることやコーディネーターが存在すること等から、リンク数が多くなっていると考えられる。それらを通じた域外のリソース (例えば生産拠点) とのリンクが含まれる可能性は排除出来ない。

とのリンクは少ないことから、“Provincial Hubs”に分類をされる。商社では、三井物産が“Connector Hubs”となっている。

分析結果として、両クラスター共通した特徴として、中心分野の中核的企業群、研究大学、商社の3種類のノード、なかでも数的には中核的企業群が最も多いが、それらがネットワークの構造上、情報や知識の流通に関し、グループ内・グループ間という2つの面において、交差点のような存在として、重要な位置を占めていることが明らかとなった。

5. 結論

我々は、まず、特徴量の分析から、ネットワークのマクロ的・平均的な姿を明らかにした。近畿医療と北部九州 LSI 産業のネットワークが アメリカの送電線やワールド・ワイド・ウェブのネットワークと同様に、‘small-world’ networks の特徴を備えていることを発見した。両地域・分野は、クラスター化に向けて多くの努力が投入されてきた場であり、また、実際に、先端産業の中心地として成長していることが観察されている。我々の仮説である「‘small-world’ networks の特徴を持ったネットワークが存在する地域経済圏は、知識産業の高い成長力を可能にする傾向がある」を支持する結果を得たといえる。ただし、確かな検証のためには、より多くの地域・分析の分析を待つ必要がある。

次に、ネットワーク内のモジュール群に関する業種及び地域性の分析、重要ノードに関する分析から幾つかのことを客観的なデータを持って明らかにした。その第一は、近畿医療と北部九州 LSI のネットワークは、特徴量で測ると近い数値を示すにもかかわらず、それらに含まれるモジュールの特性まで分解をしてみると、異なるアーキテクチャを持っていることである。前者では、類が友を呼び、同業種又はサプライチェーンの同じ段階内での横連携が発達している（「横連携型アーキテクチャ」）のに対し、後者では、メーカー系列の縦の繋がりも強い（「垂直統合型アーキテクチャ」と横の連携の組合せ）。半導体産業は垂直統合力が重要であるといった業種特性の差異があるものの、先端技術クラスターとしては、前者の方が柔軟な協働を可能とするものであり、イノベーションの創発力が高いものと評価出来よう²²。同じ大規模・先端産業であり、クラスター政策の集中投下が行われている地域であっても、業種や地域特性、歴史的な経緯といったものが、構造的な差異を生み出している可能性がある。この点に関しては、より多くの分野・地域を対象として比較分析による検証が必要である。

分析手法という面では、我々の実証分析は、ネットワークの構造の特定には、ネットワーク分析で一般的に用いられる特徴量の分析だけでは不十分であることを示した。また、我々が新たに開発した手法（「モジュール別解析法」と名付ける）によれば、企業の集積に関して、縦割の系列が強く、固定的な繋がりで結ばれた垂直統合型アーキテクチャーと、横の連携が発達したクラスターを区別することが可能であることを実証した。

第二は、ネットワークの広域的一体性である。一体的なネットワークが存在する地理的範囲は、地域ブロックの半分又はそれ以上の範囲に及ぶ²³。例えば、神戸市や北九州市だけで捉えると、中核企業の本社、研究所や事業本部がほとんどなく、補完又は関連した産業が揃っていないため、厳密な意味でクラスターが存在するとは言えない。しかし、それら都市は、域内では不足する中核企業や補完・関連産業が立地する地域とつながる広域的なネットワークの存在により、クラスター内の重要な拠点となっていると考えることが出来る。ネットワークが広域的に一体となるのは、大規模な投資と多様で高度な経営資源を必要とする先端的分野であるため、適切な取引先や共同研究の相手先を、限られた地理的範囲だけで見つけることは困難であること、製品の付加価値に比して移動コストが低廉であること、多くの重要ノードの本社が大阪府及び福岡県に集まっており、それらが県外を含めて多数リ

²² 業種特性により、横の柔軟なネットワークが持つ価値の大きさが異なることに留意する必要がある。玄場・玉田 et al.(2005)によれば、医療分野や食品産業等はサイエンスリンケージが高い。従って、こうした産業分野では、産と学の横連携の価値は、一般の産業と比較して大きいと考えられる。

²³ ネットワークの広域性は、TAMA クラスターを対象とした児玉(2005)の連携先の調査結果（論文表 14）とも符号する。児玉の調査では、連携を持つ企業の半数以上が、TAMA 域外の企業や大学と連携している。

リンクを集めていることがその理由と考えられよう。

第三は、業種内の中核企業、商社と大規模な研究大学がネットワークの中で **Hubs** として機能していることである。予想されたことではあるが、中核企業である製薬メーカーや LSI メーカー、商社、研究大学の元に情報や知識が集まり、それらの姿勢が情報・知識流通を左右する構造である。商社が **Hubs** となっている点は、欧米のクラスターにはない我が国特有の事象であろう。研究大学については、我が国ではアメリカと比較して本格的な産学連携の歴史は浅いが、両地域・分野では、産学連携が進展していることが明らかになった。我が国でも、大規模な研究大学が、異なる知識の交差・融合を担う公共空間として機能しつつあることを確認した。他方で、大規模な研究大学に比して、他の大学の位置づけは小さく、格差が顕著である。

6. 政策的インプリケーション

本論文が示した諸手法は、我が国のクラスター政策の中間的な評価と今後の展開を検討するにあたって有用な標準的ツールとなるものである。医療や半導体分野に限らず、あらゆる分野で適応が可能である。

今回の分析対象は、2 地域・分野に限られているが、クラスター政策の推進に関して、既に、幾つかの重要なインプリケーションを含んでいる。第一に、'small-world' Networks の存在は、両地域・分野における過去の政策努力、例えば、協議会の結成等によるネットワーク形成の促進、産学連携の機能強化、産学官のコンソーシアム型の研究開発助成といったものが、クラスターの形成に関し一定の効果を挙げている可能性があるということである。本分析結果を活用すれば、海外を含めた外部に対し、クラスターの存在をわかりやすく広報することが可能である。ただ、平均パス長は両地域・分野とも 5 ステップあり、ランダムの場合に近いとはいえ、協働を形成する上で、実務的にみて十分に短いとはいえない。今後、リンクの谷間の深い場所にリンクを増やすことや、新たなハブを育成するといった、'small-world' 化したネットワークを更に成長させる努力が必要であろう。

第二に、北部九州 LSI には、近畿医療と比較すると、同業種内の横の連携拡大の余地が大きい。**Pre-competitive** な段階における垂直統合の枠を超えた研究コンソーシアムの形成促進といった、自然には生じにくい縦割りの間をつなぐネットワークを拓げる一層の努力が求められよう。一方、横のリンクが既に発達している近畿医療では、やみくもにネットワークキングを進める効果は薄い。リンクが少ない箇所（ネットワークの谷）の橋渡しに対し、ネットワークキングの努力を重点化することや域外とのリンクの拡大に注力することが重要となろう。例えば、医療機器メーカーと大学、製薬企業間のリンクを密にすることで地域の複数の医療サービス間の連携を促進すること、医療ベンチャーと製造能力を持つ大メーカーや販路を持つ医療商社とのリンクを太くすること、医工連携によるイノベーションを加速することが課題として挙げられよう。

第三に、医療や半導体のような大規模な投資と多数の企業群の協力を必要とする分野では、行政区分にとらわれず、経済的な繋がりを優先して、広域的な視点で、政策投入をすべきということである。広域的なネットワークの存在を軽視して、狭い地域内だけでフルセットの関係企業群を育てようという試みは、重複投資を生み非効率となるだけでなく、成果を上げるまでに時間がかかりすぎる。現状では、残念ながら、地域の縦割りの壁が依然として存在する。壁を越える意味で、広域的に企業や大学、政策当局が結集した「九州半導体イノベーション協議会」のような場作りは重要であろう。また、県別の支援施策の適用に当たっては、他県に立地する企業を対象に含むことについて寛容な姿勢で臨むことが政策効果を高める。企業誘致についても、広域的な範囲での環境条件をもって広報することが有効である。

第四に、**Connector** である地域の中核企業群を結節点とした、国の技術戦略と地域の先端企業群との連結である。医療や LSI は、国際的な競争が激しく、各国とも、国家戦略の対象として育成を行っている。我が国でも、リスクの高い先端的な技術開発への政府投資、産学官のロードマップの策定、共同プロジェクトの組成等といった産業技術政策が実施されている。従来、産官の情報交換や産業政策の情報伝達のルートであった地域の工業会は、その機能が大幅に低下している。国の技術戦略をいち早く、地域クラスターに浸透をさせることや産業界の実際の動きを国の政策にフィードバックさせ

るということを考えた場合、地域のネットワークを行う協議会に加え、Connector Hubs となっている中核企業群を経由することが効率的であると言えよう。

第五に、大学や産業支援機関について、既に connector hubs となっているものは、hub としての位置づけを更に高め、まだ hub となっていない組織についてはそれに近づけるよう、産学連携や企業間のコーディネート機能の強化を行うことである。具体的には、産学の間・仲介機構を育成すること、コーディネータ人材の育成と配置、産学の接触のプロトコル（例えば、産学が合意出来る知的財産管理契約）を確立することである。また、ネットワークイベントなどにおいて、既に connector となっている商社の異分野仲介機能を活用することも有効であろう。

ネットワーク内でのノードとしての位置づけに関して、大規模な研究大学とそれ以外の大学との差異が大きい。このことは、大規模な研究大学が存在しない地域経済圏において、産学連携を進めることの難しさを示唆している。我が国では、有力な研究大学は 3 大都市圏に集中立地をしており(藤末 et al. (2001))、有力な研究大学が地域的に分散して立地しているアメリカと比較して、先端分野のクラスターを分散的に形成することは難しい条件下にあるといえる。従って、大規模な研究大学が立地しない地域経済圏は、それを有する経済圏とは異なる戦略を採用する必要がある。例えば、他の経済圏の研究大学や研究能力の高い中核企業と太く幅広なリンクを意図的に作り上げる（適した地域の例として浜松）、特定の技術やノウハウに立脚した部品材料産業に重点化すること（実際に進んでいる例として、山形の有機EL、長野の精密機械、岩手の金型や鋳造）が考えられよう。

7. おわりに

クラスター研究は、空間経済学、経営学、イノベーション論、社会学など俯瞰的なアプローチを必要とする分野である。本論文は、俯瞰の幅を広げる観点から、社会学、生命学、情報工学等の分野で多用されるようになってきているネットワーク分析の手法が、地域クラスターのネットワークが持つ多様で複雑な構造を客観的に把握、評価する手法として、有効であることを示した。

このような客観的な分析手法とクラスターの現状や活動に関する定性的な評価を組み合わせることにより、より多くのインプリケーションが得られるであろう。例えば、ある大学の周辺で産学連携に関する活動が有効に行われているという定性的評価があった場合に、ネットワーク分析により、当該大学の周辺でリンクが発達していることを実際に特定すれば、定性的評価を裏打ちするものとなる。

一般に、特定の「空間」における各種経営資源の群集と協働という場合に、地域クラスターのようないくつかの地理的に閉じた空間内での協働と、ITを利用したバーチャルな空間内における協働の2つがある。本論文で取り上げた2つの地域の先端産業は前者の例であり、後者の例としては、国境を越えた共同開発や生産分業が盛んに行われるようになってきた航空機産業がある。我々の手法を用いれば、特定の地域の特定の産業分野について、それがいずれの性格を強く持っているのかを明らかにすることも出来よう。地理的に限られた範囲内に、関連・補完する業種も含めたノード群が厚く集積し、それらの間に密なネットワークが存在する場合は前者であり、中核企業は存在するが重要な補完的事業がその地域圏内には存在しないような場合は後者である可能性が高い。

本研究は完成したものではなく、様々な研究課題を残している。その意味で、政策的インプリケーションも暫定的なものと考えたい。今後の研究の方向性については、より多くの地域のネットワークを比較分析することを通じて、ネットワークのトポロジカルな構造と機能との関係を更に克明に明らかにするとともに、クラスター・ネットワークに関する構造分析の手法の定式化を目指していきたい。また、新たに「時間」の概念を導入することで、ネットワーク形成のダイナミクスを支配する要素についても明らかにしてゆく。

更に、本論文では単一の分野を扱ったが、複数の分野間のネットワークの融合と協力をどのようにして客観的に捉えるかも課題である。複合クラスターとしては、医療、金融、教育分野をカバーするボストン、医療・IT、生産技術をカバーするピッツバーグ等が著名である。また、技術的にもナノテクとバイオ、IT間の融合も進みつつある。我が国でも、関西では、医療と食品やIT、九州地域

では、半導体と自動車産業の融合が部分的に進んでいることが知られている。

また、イノベーション分野における他の研究と組み合わせることも有効と考えている。地域経済圏毎のイノベーションの活力を測る研究と我々の研究を組み合わせれば、イノベーションの活力とネットワークの構造との関係をより体系的に議論することが可能となる。

このような方向で研究を進化させることで、よりはっきりとした政策的なインプリケーションを示すことが出来るようになると考えている。

(参考文献)

- [1] Acs, Z. J., Anselin, L., and Varga, A. (2002). Patents and Innovation Counts as measures of Regional Production of New Knowledge. *Research Policy* 31, 1069-1085
- [2] Arora, A and Gambardella A. (1990). Complementarity and External Linkages – The Strategies of the Large Firms in Biotechnology. *J.Ind. Economics* 38, 361-379
- [3] Barabasi, Albert-Laszlo. & Albert R. (1999) Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286, 509-512.
- [4] Barabasi, Albert-Laszlo. (2002). *LINKED: The New Science of Networks*. Cambridge MA: Perseus Books
- [5] Breznitz, S., & Anderson W. P. (2004). Boston Metropolitan Area Biotechnology Cluster. Working Paper Series #CTS2004E, BU Center for Transportation Studies.
- [6] Camagni, R. (1991). Local Milieu, Uncertainty and Innovation Networks: Toward a New Dynamic Theory of Economic Space. In *Innovation Networks: Spatial Perspectives*. Belhaven Press.
- [7] Council of Competitiveness. (2001). Clusters of Competition: Regional Foundations of U.S. Competitiveness.
- [8] Guimera, R., & Amaral, L. A. N. (2005). Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature*, 433, 895-900.
- [9] Jacobsson, S. (2002). Universities and Industrial Transformation. SPRU Electronic Working Paper Series No.81
- [10] Milgram, S. (1967). The Small World Problem. *Psychology Today*(May), 60-67.
- [11] Lee, Chong-Moon, M., William F., H., Marguerite G. & Rowen, H. S. (2000). *The Silicon Valley Edge: a habitat for innovation and entrepreneurship*, Palo alto CA: Stanford University Press.
- [12] Lester R. K. & Piore M. J.(2004). Innovation The Missing Dimension (邦訳 「イノベーションー ‘曖昧さとの対話による企業革新’」). Harvard University Press.
- [13] Lofsten H. & Lindelof P.(2002). Science Parks and the Growth of New-Technology-Based Firms- Academic-Industry Links, Innovation and Markets. *Research Policy*31, 859-876.
- [14] Maillat, D., Nemeti, F. & Pfister M. (1992). Les Microtechniques et Les Services Associes, Final Report for the Swiss national Funds for Scientific Research.
- [15] Maillat, D. (1996). From The Industrial District to The Innovation Milieu: Contribution to an Analysis of Territorialized Productive Organizations. Neuchatel University Working Paper #9606b.
- [16] Maillat D. & Kebir L. (1998). The Learning region and Territorial Production Systems. Neuchatel University Working Paper #9802a.
- [17] Nesta L. & Mangematin V. (2004). The Dynamics of Innovation Networks. SPRU Electronic Working Paper Series No.114.
- [18] Newman, M.E.J. (2004). Fast Algorithm for detecting community Structure in networks. *Physical Review E*, 69,066133.
- [19] NGA. (2002). A Governor’s Guide to Cluster-Based Economic Development, NGA Home Page.
- [20] Owen-Smith J., & Powell W. W. (2004). Knowledge Networks as Channels and Conduits: The Effects of Spillovers in the Boston Biotechnology Community. *Organization Science* (Jan-Feb).
- [21] Porter M.E. (1998). Clusters and the New Economics of Competition. *Harvard Business Review* Nov.-Dec. 1998, 77-90.
- [22] Powell, W.W., & Brantley, P. (1992) Competitive Cooperation in Biotechnology: Learning Through Networks. In N. Nohira & R.G. Eccles(eds) *Networks in Organizations*.
- [23] Powell, W.W., Koput K.W., Bowie, J. I., & Smith-Doerr, L. (2002). The Spatial Clustering of Science and Capital: Accounting for Biotech Firm-Venture Capital Relationship. *Regional Studies* Vol.36, 291-305.
- [24] Powell, W.W., & White D. R. (2005). Network Dynamics and Field Evolution: The Growth of Interorganizational Collaboration in the Life Science. *American Journal of Sociology* Vol.110 No.4.
- [25] Smilor, R.W., Gibson D. V., Kozmetsky G. (1988). Creating The Technopolis : High-Technology Development in Austin, Texas. *Journal of Business Venturing* Vol.4 , 49-67.
- [26] Steinle, C. & Schiele, H. (2002). When Do Industries Cluster? A Proposal on How to Assess an Industry’s Propensity to Concentrate at a Single Region or Nation. *Research Policy* 31, 849-858.
- [27] Watts, D. J., & Strogatz, S. (1998) Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks. *Nature* 393 440-442.
- [28] 玄場公規, 玉田俊平太, 児玉文雄(2005). 科学依拠型産業の分析. RIETI Discussion Paper Series 05-J-009.
- [29] 児玉俊洋(2005). 産業クラスター形成における製品開発型中小企業の役割-TAMAに関する実証分析に基づいて

ー. RIETI Discussion Paper Series 05-J-026.

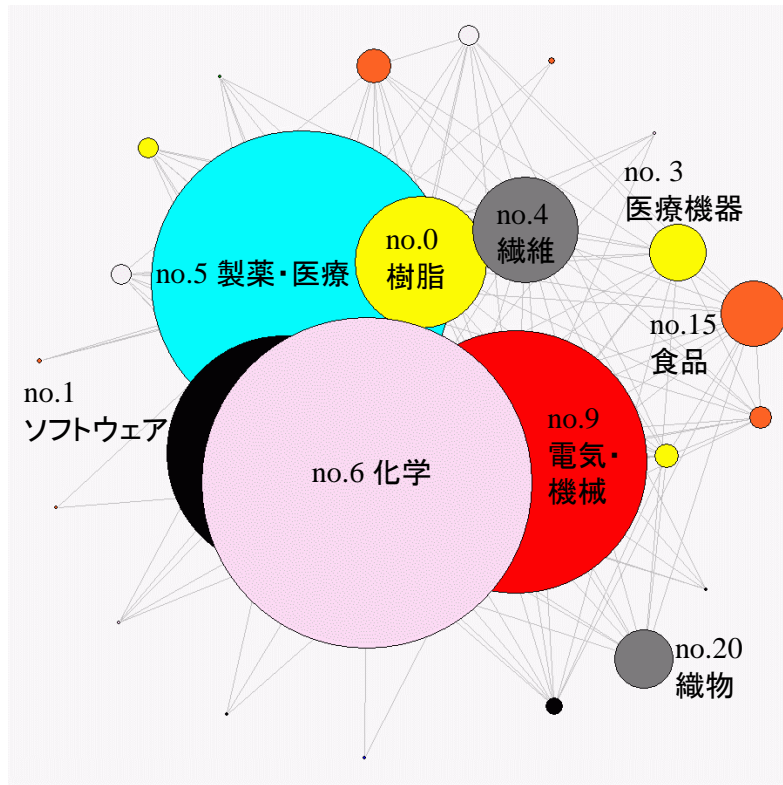
- [30] 坂田一郎,松崎文吾,濱本正明,藤末健三,松島克守(2004). 地域クラスター・モデルの構造解析. ビジネスモデル学会論文誌 vol.2, ビジネスモデル学会
- [31] 坂田一郎,柴田尚樹,小島拓也,梶川裕矢,松島克守(2005). 地域経済圏の成長にとって最適な地域ネットワークとは. 一橋ビジネスレビュー53 巻3号, 182-195
- [32] 柴田尚樹,松島克守(2006). ネットワーク分析を用いた知識の成長モデルに関する研究. 東京大学工学系研究科修士論文
- [33] 神野直彦(2002). 地域再生の経済学. 中央公論社
- [34] 西口敏宏,辻田素子,許丹(2005). 温州の繁栄と「小世界」ネットワーク. 一橋ビジネスレビュー52 巻4号, 22-38
- [35] 西口敏宏(2006). トポロジーで考えるネットワーク. 一橋ビジネスレビュー54 巻2号,120-132
- [36] 二神恭一,西川太一郎(2005). 産業クラスターと地域経済. 八千代出版
- [37] 藤末健三,西和彦,坂田一郎(2001). 研究大学の日米比較-カーネギー分類からみた我が国の研究大学. 開発技術 vol.7, 開発技術学会, 63-76
- [38] 山崎朗,友景肇(2001). 半導体クラスターへのシナリオ. 西日本新聞社

(謝辞)

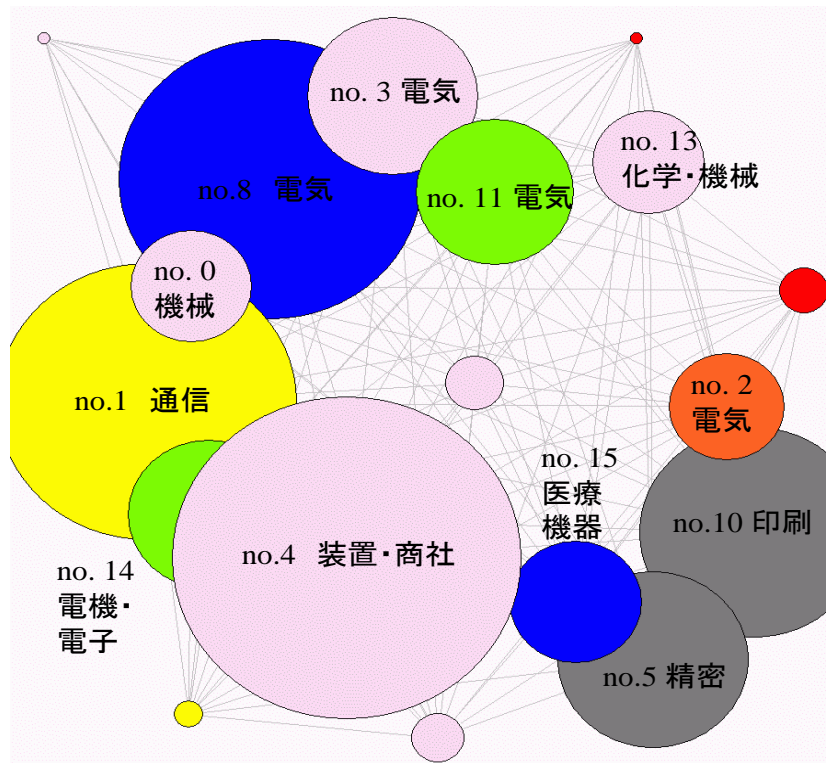
本研究は、東京大学総合研究機構俯瞰工学部門におけるネットワーク研究の蓄積を利用している。また、文部科学省の平成17年度科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の一環として、実施したものである。また、経済産業研究所、科学技術政策研究所、研究・技術計画学会が共催する「地域クラスターセミナー」からは、多くの示唆を得た。

データの提供や助言をいただいた九州大学産学連携センターの谷川徹教授、(財)北九州産業学術推進機構の徳永篤司課長、京都大学の松重和美副学長、大阪大学先端科学イノベーションセンターの正城敏博助教授、京都高度技術研究所の大石賢治特任顧問、立命館大学の川村貞夫教授、産業技術総合研究所の三宅淳総括研究員、神戸大学の北村新三副学長、神戸市の三木孝参事他の方々に感謝申し上げます。分析手法の開発や結果の評価に関し、様々なアドバイスをいただいた東北大学の原山優子教授、一橋大学の石倉洋子教授、京都大学の児玉俊洋教授、東成エレクトロビームの上野保社長、堀場製作所の堀場雅夫最高顧問、科学技術連携施策群・地域科学技術クラスター連携群の山崎朗主監、佐藤充孝主監補佐、三菱総合研究所の方々に感謝申し上げます。大量のデータの収集と整理に尽力をいただいた元東大総研の南敦資主任研究員、東大総研の松崎みゆき研究員、東京大学の松野和華子研究員、東京大学技術経営戦略学専攻の学生である川嶋星、前思帆さんの貢献に感謝します。

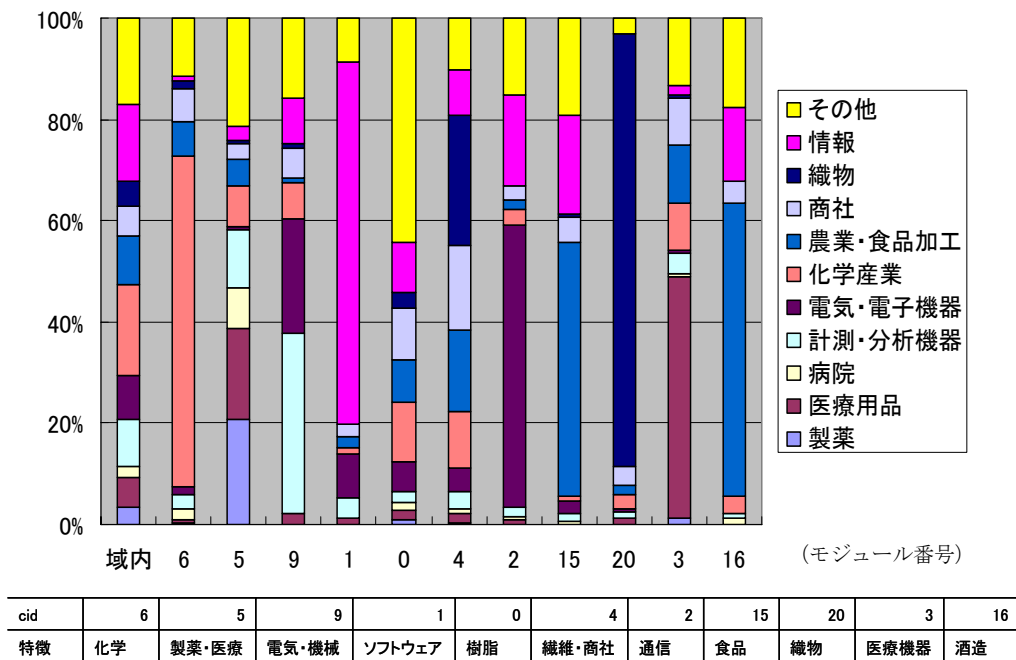
(図1) 近畿・医療産業のネットワーク構造



(図2) 北部九州・LSI産業のネットワーク構造

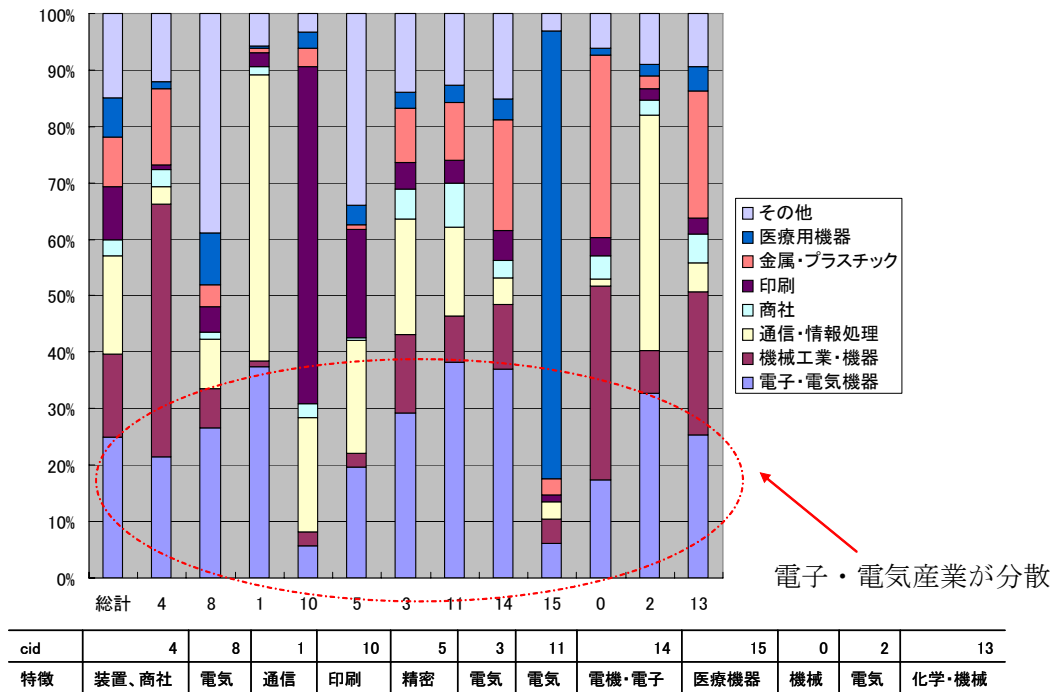


(図3) モジュール別の業種割合①:「近畿医療」



特徴は主要ノードから判断、モジュール番号は識別用に便宜付与

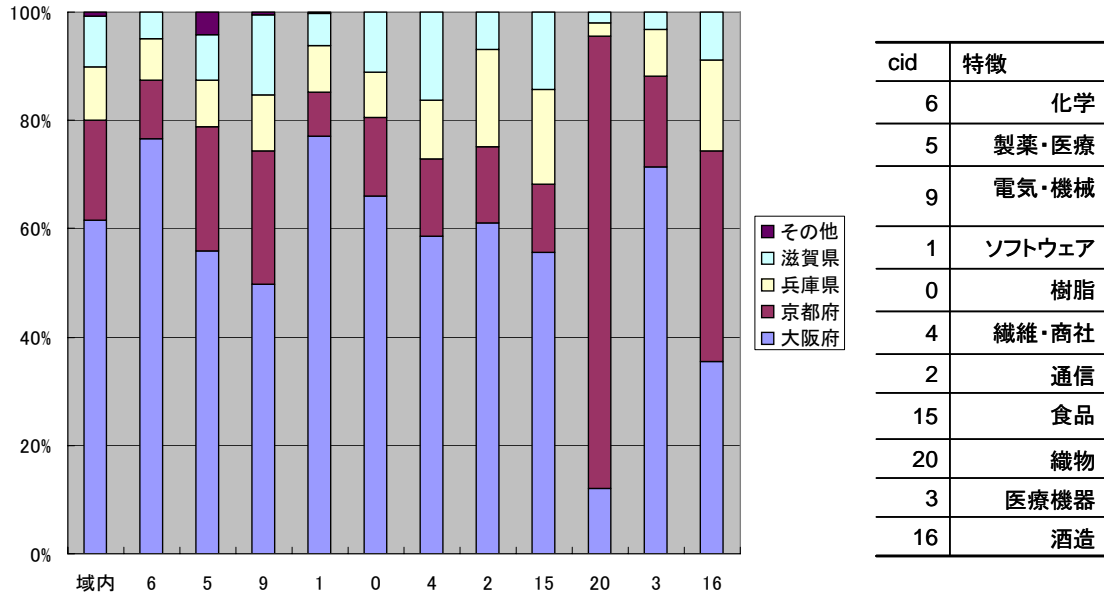
(図4) モジュール別の業種割合②:「北部九州LSI」



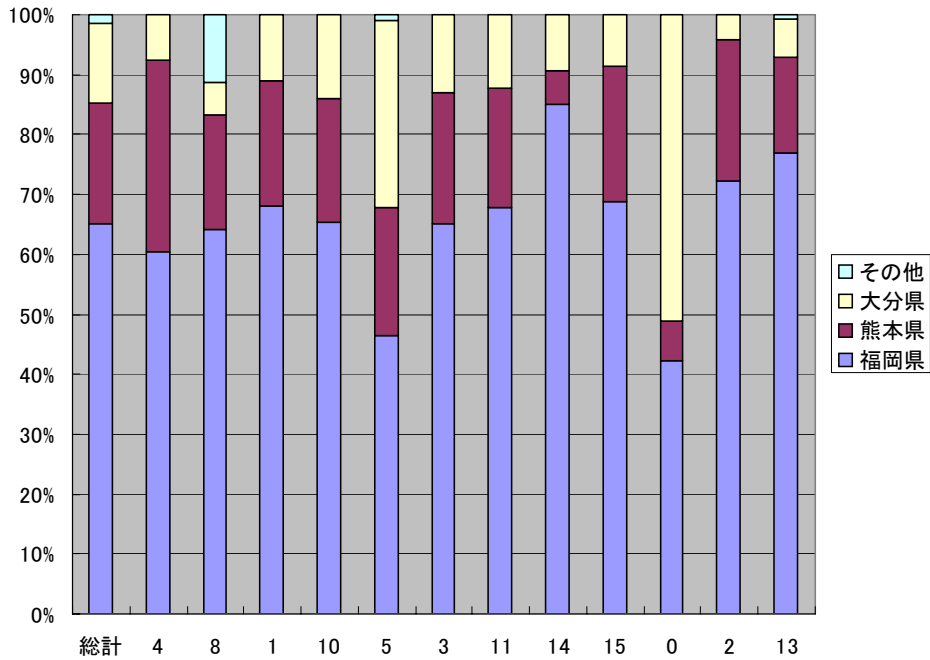
(備考)

1. 横軸の番号は、便宜的に付与したモジュール・ナンバー
2. Qmax の時点で分割した際に、含まれるノード数が平均以上のモジュールについて分析

(図5) モジュール別の地域性分析①:「近畿医療」



(図6) モジュール別の地域性分析②:「北部九州LSI」

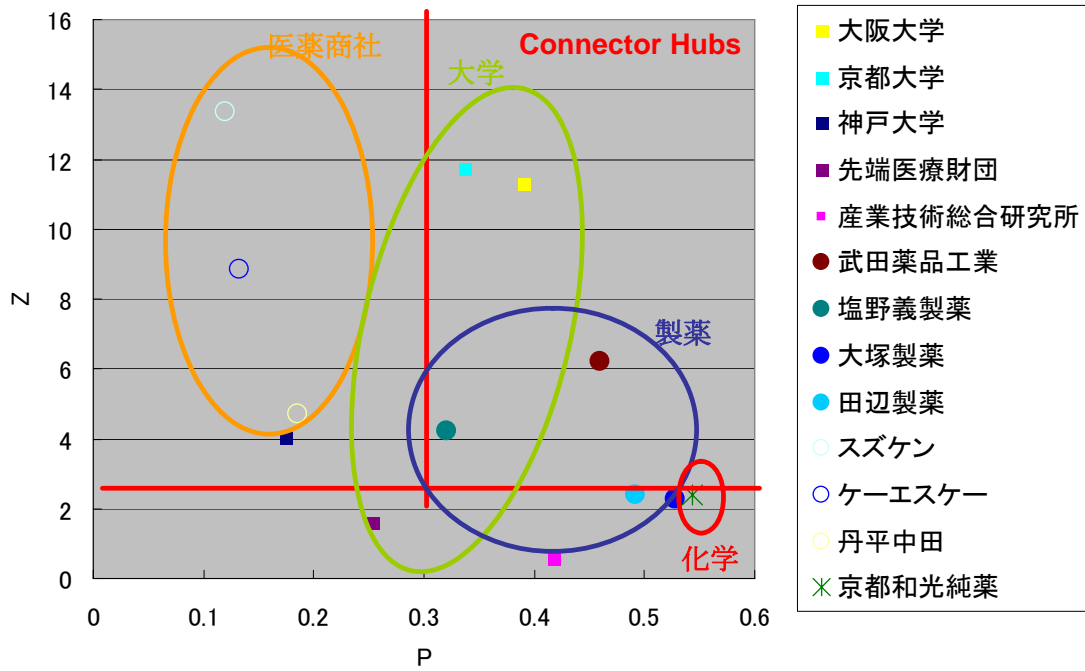


(備考) 地域的な偏在が見られるのは3モジュール: cid14=福岡(安川電機)、
cid5=大分(熊本リコー)、cid0=大分(江藤酸素) カッコ内は中核企業

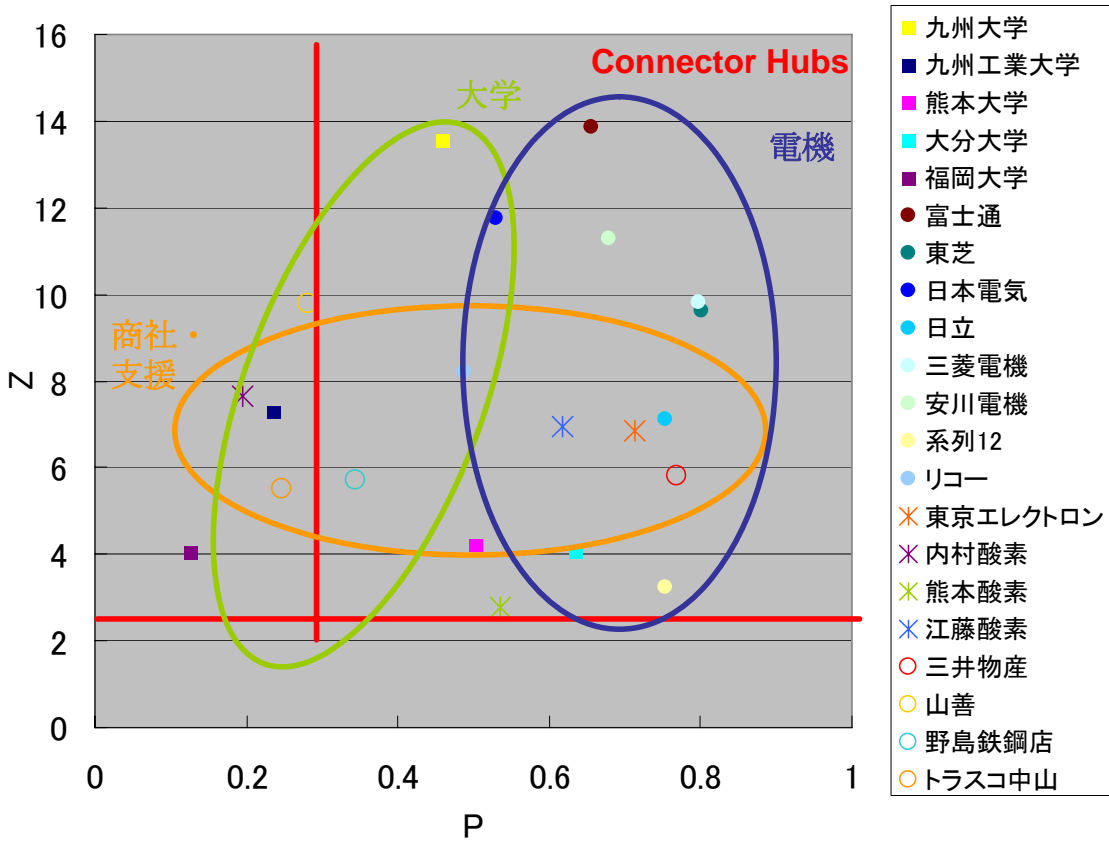
(注)

1. 横軸の番号は、便宜的に付与したモジュール・ナンバー
2. Qmax の時点で分割した際に、含まれるノード数が平均以上のモジュールについて分析

(図7) 近畿医療・Z Pマトリックス (医療モジュールのみの分析)



(図8) 北部九州・L S I Z Pマトリックス



(表4) モジュール別の重要企業・大学リスト①：近畿医療

cid	ノード数	特徴	有力ノード
6	872	化学	化学(大日本インキ、住友化学、三菱化学、三井化学)。商社(三井物産、三菱商事、長瀬産業、住友商事、トーメン、稲畑産業)
5	794	製薬・医療	医薬(武田、塩野義、大塚製薬、田辺製薬)、医薬商社(スズケン、ケーエスケー、丹平中田)、大学等(京都大学、大阪大学、神戸大学、先端医療財団)、化学(和光純薬)
9	690	電気・機械	電気・機械(島津製作所、ダイキン、大日本スクリーン製造、京セラ、ローム、堀場製作所、荏原製作所、デンソー)、大学等(立命館、京都高度技術研究所)、商社(竹菱電機、ユアサ商事)、化学(三菱樹脂)
1	622	ソフトウェア	ソフトウェア(日本ユニシス、インテック、日本総研、コベルコシステム、オージェス総研、日立情報システム)、電気(日本電気、キヤノン販売、沖電気)
0	354	樹脂	樹脂(積水化学、積水樹脂、リンテック)、化学(岩谷産業)、商社・物流(東神物産、もりや産業、ニチバン)
4	281	繊維・商社	繊維(シキボウ、田村駒)、商社(伊藤忠商事、豊田通商、住金物産、兼松、ユニチカ通商)、機器(栗田工業)
2	206	通信	通信(サンテレホン、オリックス、ムラテック販売)
15	176	食品	食品・飲料(サントリー、サントリーフーズ、アサヒ飲料、キリンビバレッジ)、化学(塩野香料) 商社(日本アクセス、新東亜公益)
20	156	織物	織物(長谷川、川中、蝶理、木村卯兵衛)
3	151	医療機器	医療機器(ピップフジモト、パラマウントベッド、川本産業)、医療機器商社(村中医療器)
16	90	酒造	酒造(宝酒造、メルシャン、月桂冠)

(表5) モジュール別の重要企業・大学リスト②：北部九州LSI

cid	Node数	特徴	有力ノード
4	423	装置・商社	電気(東京エレクトロン九州、三菱電機、富士電機、荏原製作所)、化学(内村酸素、熊本酸素) 商社(山善、トラスコ中山、野島鉄鋼店、日伝、米善機工)
8	369	電気	電気(日立、京セラ、島津製作所)、大学等(九州大学、九州工業大学、熊本大学、福岡大学)、商社(正晃)
1	361	通信	電気(富士通、沖電気、日本アンテナ)、IT(安川情報システム)、商社(西日本電材)、通信(ニシム電子工業、西部電気工業、サンテレホン、日本無線、西日本システム建設)
10	278	印刷	印刷(凸版印刷、大日本印刷、リンテック)
5	230	精密	精密(リコー、ゼロックス)、商社(水上洋行)、大学(大分大学)
3	209	電気	電気東芝(東芝、東芝情報機器、東芝産業機器システム)、商社(三井物産、豊田通商、キヤノン販売)
11	196	電気	電気(三菱電機、オムロン、横河電気、)、商社(三菱商事、ミカサ商事)、
14	192	電機・電子	電気(安川電機、松下電工)、商社(カナデン)
15	164	医療機器	医療商社(キシヤ、村中医療器、スズケン)、医療機器(セントラルユニ、パラマウントベッド)
0	149	機械	化学(江藤酸素)、機械(江藤製作所、タカキ製作所)、
2	144	電気	電気NEC(日本電気、NECモバイリング)、機械(富士ダイス)
13	138	化学・機械	化学・機械等(岩谷産業、昭和鉄工、日立造船)、商社(住友商事、丸紅)

Appendix1 (ノードの業種別分類一覧)

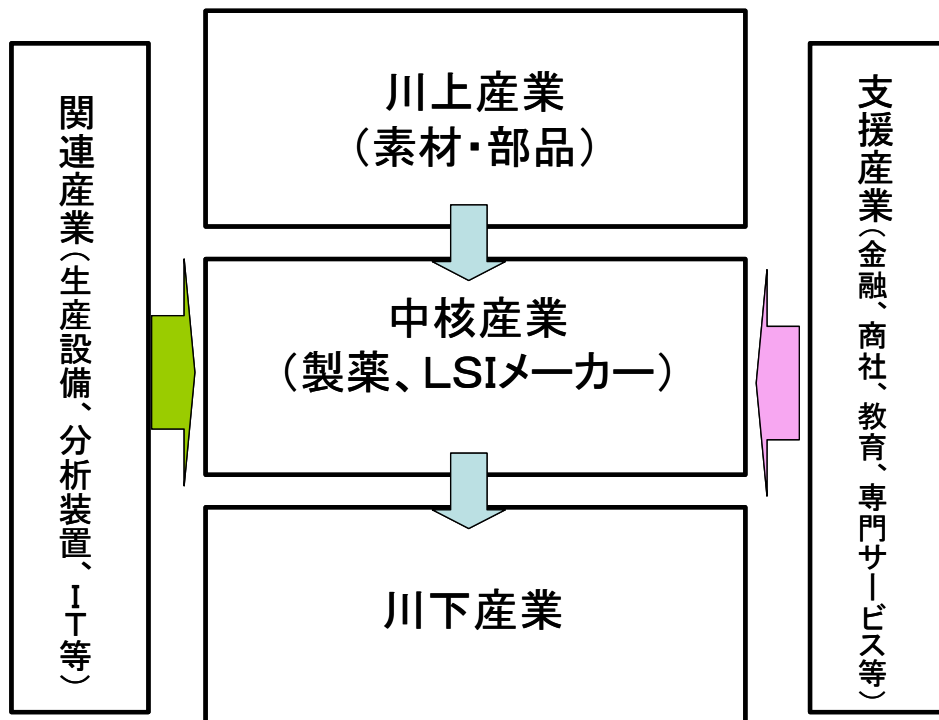
(1) 近畿広域経済圏・医療関連分野：

業種名	当該業種(NTT分類)
製薬	製薬業
医療関連	医療用品、医療理化学用硝子、医薬品卸、介護用品・福祉機器
病院	総合病院、病院・療養所、心療内科、神経科・精神科、臨床検査・治験サービス、DNA鑑定
計測・分析機器	計器、電気・電子計測機器、光学器械、工業用試験機、精密機械、分析機器、理化学機器
電気・電子機器	通信用機器、電子応用装置、電子回路設計、電気機器部品
化学産業	化学工業、化学工業薬品、化学工業用機械 化学製品、プラスチック素材、化学繊維、縫製加工業、化粧品製造・卸、食品添加物、
農業・食品加工	食品工業、酒造業、しょうゆ醸造、温室栽培、菓子店、食品用油脂製品、清涼飲料水、たばこ、茶販売、茶製造・卸、乳酸飲料、つけ物、健康・自然食品
ソフトウェア	情報処理サービス、ソフトウェア業
繊維	織物
支援産業	技術士、技術コンサルタント、発明相談、特許相談、弁理士、自然科学研究所
学校	大学、各種学校(工業)、各種学校(農業)、各種学校(医療)、各種学校(衛生)、各種学校、医療学校、職業訓練校、工業専修学校、農業専修学校、医療専修学校、衛生専修学校
銀行等	銀行、信用金庫、信用組合、投資業、ファイナンス投資サービス、労働金庫
商社	商社
その他	産業用ロボット、自動制御機器、環境測定機器、環境保全装置・資材、水処理装置、産業廃棄物処理、包装・梱包材料、動物用薬品、竹材、肥料、香料、油脂製品、労働者派遣業、介護サービス(施設)

(2) 北部九州広域経済圏・超L S I 分野：

業種名	当該業種(NTT分類)
半導体	半導体素子、電子回路設計
電子・電気機器	計器、電気・電子計測器、コンピューター用品、光学器械、自動制御機器、精密機械、通信用機器、電気機器製造・卸、電気工業、電気制御機器、電子機器・部分品、コンピューター、理化学機器
機械工業・機器	機械器具、機械工業、機械工具製造、機械部分品、研磨機、金型、産業用ロボット、油圧・空圧機器
通信・情報処理	ソフトウェア業、電気通信業、情報処理サービス、インターネット関連業、プロバイダー、システムインテグレーター
印刷	印刷、スクリーン印刷
金属・プラスチック	金属、金属熱処理、アクリル板加工、セラミックス製品・ガラス、切削加工、プラスチック加工、金属加工(プレス・板金)
医療用機器	医療用機器
支援産業	技術コンサルタント、発明相談、特許相談、弁理士、非破壊検査、環境計量証明、自然科学研究所
学校	大学、各種学校(工業)、工業専修学校コンピューター学校
銀行等	銀行、信用金庫、信用組合、投資業、ファイナンス投資サービス、労働金庫
商社	商社
その他	プラント設計、設計、測量設計、電機機器販売、パソコン販売・修理・支援、人材派遣業、医療学校、医療専修学校、衛生専修学校、各種学校(医療)、各種学校(衛生)、

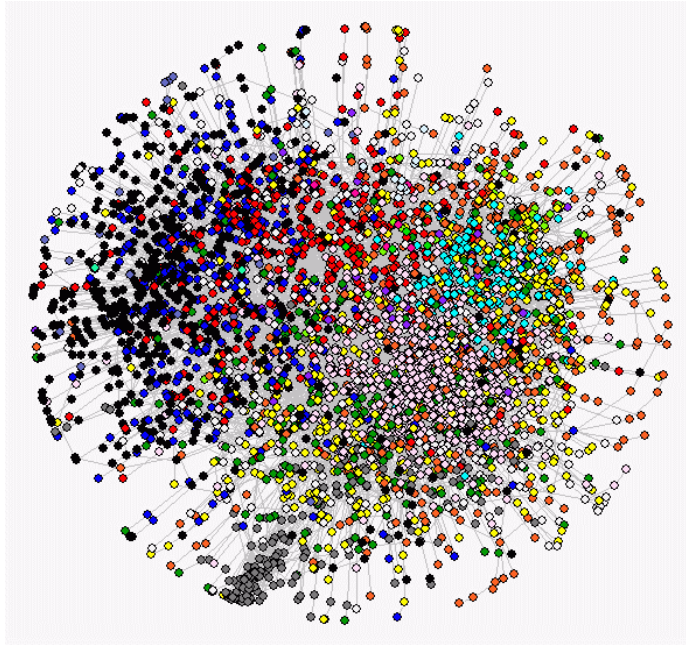
Appendix1-2 (分析対象の産業群の構造)



(備考) 上記の産業群以外に、「大学・公的研究機関」及び産業支援機関(Cluster Institutions)を分析に含めている。

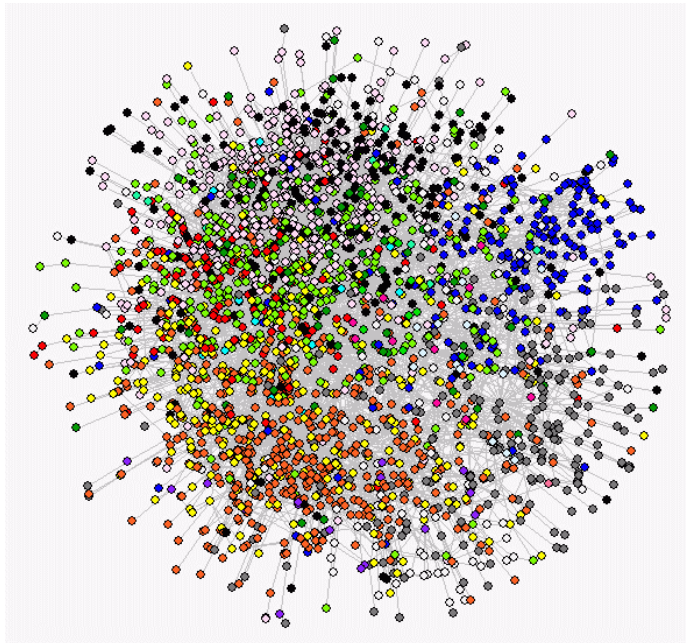
Appendix 2 (ネットワークの原図)

<近畿広域経済圏・医療産業>



色	業種区分
Gray05	(未分類)
Cyan	製薬
Yellow	医療用品
LimeGreen	病院
Red	計測・分析機器
Blue	電気・電子機器
Pink	化学産業(原材料)
Orange	農業・食品加工(医療以外の技術利用先)
Purple	専門支援業
CadetBlue	間接金融業
TealBlue	投資業
OliveGreen	商社
Gray	織物
Black	情報
WildStrawberry	大学
ForestGreen	支援団体
Salmon	工業高等専門学校
LSkyBlue	大学発ベンチャー

<北部九州広域経済圏・LSI産業>



色	業種区分
Gray05	(未分類)
Cyan	半導体メーカー
Yellow	電子・通信・コンピュータ
LimeGreen	電気機器製造・卸
Red	電気機器販売
Blue	医療用機器
Pink	機械工業・機器(半導体製造用・半導体利用産業)
Orange	情報処理
Purple	間接金融業
CadetBlue	投資業
TealBlue	専門支援業
OliveGreen	商社
Gray	印刷(一部半導体関連)
Black	金属・プラスチック
WildStrawberry	大学
ForestGreen	支援団体
Salmon	工業高等専門学校
LSkyBlue	大学発ベンチャー

(備考) 業種ではなく、府県別にノードをマーキングした場合は、本図のような同じ色のノードの群集は見られず、かなり均質的なまだら模様となる。

Appendix 3 (クラスター内次数係数、モジュール間分散度の計算方法とそれらによるノードの分類について)

クラスタリングされた各論文が、ネットワーク構造内でどのような役割を推移したのかを明らかにし、新興学術分野の特定に役立てるために、Guimera et al. (2005)は、クラスター内次数係数 (within-module degree) z -score、モジュール間分散度 (participation coefficient) P という2つの変数で表現することを提案している。彼らは、これら2つの変数を次のように定義した。 z -score は、当該ノードが、自身が含まれるクラスター内でどの程度よく結合しているのかを表し (how well-connected node i is to other nodes in the module)、 P は、当該ノードが持つリンクが複数のクラスターにどの程度、よく分散しているのかどうかを表す。当該ノードのリンクが全て自身のクラスター内にある場合は $P=0$ であり、逆にランダムグラフのようにリンクが全てのクラスターに均等に分散している場合は $P=1$ となる。

$$z_i = \frac{\kappa_i - \bar{\kappa}_{s_i}}{\sigma_{\kappa_{s_i}}}$$

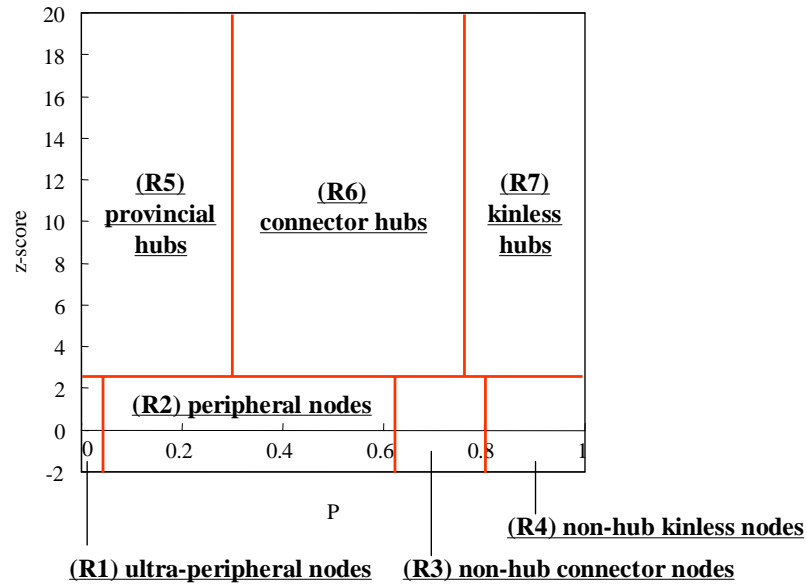
$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa_i : \text{the number of links of node } i \text{ to other nodes in its module } s_i \\ \bar{\kappa}_{s_i} : \text{the average of } \kappa \text{ over all the nodes in } s_i \\ \sigma_{\kappa_{s_i}} : \text{the standard deviation of } \kappa \text{ in } s_i \end{array} \right.$$

$$P_i = 1 - \sum_{s=1}^{N_M} \left(\frac{\kappa_{is}}{k_i} \right)^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \kappa_{is} : \text{the number of links of node } i \text{ to nodes in module } s \\ k_i : \text{the total degree of node } i \end{array} \right.$$

その上で、 z, P 平面にノードをマッピングし、統計的に分類すると、次図のように、ノードがその役割によって7種類に分類されることを示した。彼らはこの7つにそれぞれ下表の分類名を付けている。最初に、 z の値でハブとそれ以外を区分している。non-hub nodes ($Z \leq 2.5$) と hub nodes ($Z > 2.5$) である。non-hub nodes は、(R1)ultra-peripheral nodes (ネットワークの末端に存在するノード)、(R2)peripheral nodes (ネットワークの隅近くに存在するノード)、(R3)non-hub connector nodes (自身のクラスター内ではハブではないが、他クラスターと結合しているノード)、(R4)non-hub kinless nodes (自身のクラスター内ではハブではないが、他クラスターと強く結合しているノード) に分類される。hub nodes は、(R5)provincial hubs (自身のクラスター内ではハブであるが、他クラスターとはほとんど結合していないノード)、(R6)connector hubs (自身のクラスター内ではハブであり、他クラスターとも結合しているノード)、(R7)kinless hubs (自身のクラスター内ではハブでも、全体としても強いハブであるノード) である。彼らは実際に、E. Coil などの実際の代謝ネットワークのデータで検証し、現実に合致することを確認した。

(図) ノードの役割マトリックス



(表) Z 値と P 値によるノードの 7 分類

Z による分類	ラベル	分類名	説明
non-hub nodes ($Z \leq 2.5$)	(R1)	ultra-peripheral nodes	nodes with all their links within their module ($P \leq 0.05$)
	(R2)	Peripheral nodes	nodes with most links within their module ($0.05 < P \leq 0.62$)
	(R3)	non-hub connector nodes	nodes with many links to other modules ($0.62 < P \leq 0.80$)
	(R4)	non-hub kinless nodes	nodes with links homogeneously distributed among all modules ($P > 0.80$)
hub nodes ($Z > 2.5$)	(R5)	provincial hubs	hub nodes with the vast majority of links within their module ($P \leq 0.30$)
	(R6)	connector hubs	hubs with many links to most of the other modules ($0.30 < P \leq 0.75$)
	(R7)	kinless hubs	hubs with links homogeneously distributed among all modules ($P > 0.75$)